

*І.В. МАЛЯРЧУК**Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна*

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ ПРИ ЗМАЩУВАННІ ТРАНСМІСІЙНИМИ ОЛИВАМИ

Проаналізовано мікрогеометричні характеристики поверхонь тертя при змащуванні мастильними матеріалами з протизадирними присадками. Розглянуто існуючі методи оцінки якості поверхні тертя. Проаналізована доцільність застосування кривої Аббота для аналізу ефективності структурної адаптації контактних поверхонь при терті. Встановлені закономірності зміни мікрорельєфу контактних поверхонь та їх зносостійкості залежно від типу мастильного матеріалу.

Ключові слова: зносостійкість, мікрорельєф, крива Аббота, мастильний матеріал.

Вступ та постановка задач дослідження. Тертя між поверхнями під час кочення з проковзуванням у контактні зубчастих передач є основною причиною зниження довговічності коробок передач. Визначення сили тертя є важливим параметром для прогнозування стійкості до задирів і довговічності поверхонь як на етапі проектування, так і під час експлуатації [1]. Якість поверхні традиційно визначається такими параметрами шорсткості, як середнє арифметичне відхилення профілю (R_a), максимальна висота нерівностей (R_{max}), середній крок нерівностей профілю (S_m) тощо, а також фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Шорсткість є одним з найінформативніших показників, що характеризують нормальну роботу деталей. Від шорсткості поверхні залежать величина сили тертя та зносостійкість рухомих трибосполучень деталей. Шорсткість поверхні розглядається як статичний об'єкт, що реагує на фізичний процес її обробки, тобто є результатом впливу на оброблювану поверхню, закріпленими елементами мікрогеометрії, апроксимованими простими геометричними тілами - сферами, конусами, циліндрами тощо. Вплив на шорсткість оцінюється лише через деякі технологічні параметри режиму обробки. Однак, якщо під час формування поверхні кочення забезпечується оптимальна експлуатаційна мікрогеометрія профілю та фізико-механічні властивості поверхневого шару, то процес припрацювання характеризуватиметься скороченням періоду вирівнювання контактуючих поверхонь і досягненням ними стійкого експлуатаційного стану. Традиційні технології формування робочих поверхонь збчастих передач не завжди забезпечують раціональне поєднання мікрогеометричних характеристик та фізико-механічних властивостей поверхневого шару після абразивної обробки [2].

Забезпечення оптимальної мікрогеометрії пар тертя можливе на етапі припрацювання контактних поверхонь, коли створюються умови для формування експлуатаційної шорсткості.

Аналіз останніх публікацій з даної проблеми. Сучасні положення відомих теорій, гіпотез та концепцій про тертя та зношування трибосистем стали класичними. На їх основі були розроблені відповідні методики та експериментальні

техніки, які повністю забезпечували підтвердження теорій на практиці [3,4]. Тому будь-які відхилення результатів експериментів від теоретичних обґрунтувань відносилися до категорії помилок, похибок вимірювань тощо, а експериментальна техніка розроблялася традиційно: машини тертя для визначення товщини змащувального шару, прилади тертя для вимірювання реології змащувальних матеріалів, прилади для визначення електричних властивостей рідин в умовах стиснення та ін. Процес зношування являє собою різні зміни поверхонь тертя, що включає в себе видалення або переміщення матеріалу із взаємодіючих поверхонь при механічному, хімічному або іншому зовнішньому впливі. Числовою мірою зношування є знос, який визначається в одиницях довжини, обсягу або маси. Ступінь граничного зносу встановлюється в залежності від призначення передачі, вимог довговічності, шуму і вібрації[5].

Механічне зношування в зубчастій передачі є результатом механічного впливу поверхонь зубів, що взаємно переміщуються, а також абразивного впливу на них сторонніх твердих частинок або продуктів, що відокремилися від зносу. За фізичним характером процесу розрізняють такі види механічного зношування: адгезійне зношування; абразивне зношування; полірування; втомне зношування; зношування в період пуску під навантаженням; кавітаційне зношування [6].

В результаті зношування змінюються вихідні мікрогеометричні характеристики поверхонь деталей. Зокрема, хвилястість може утворитися на поверхні деталі при виготовленні (технологічна хвилястість) і в процесі експлуатації машин. При обробці хвилястість може виникнути перпендикулярно (поперечна хвилястість) і паралельно (подовжня хвилястість) рухові ріжучого інструмента або абразивного кола. Характер хвилястості залежить від умов виконання операцій, вона може бути кільцевою, гвинтовою, суцільною, переривчастою. Хвилястість звичайно виявляється при тонких чистових операціях: шліфуванні, хонінгуванні, суперфініші, іноді вона виникає при інших видах обробки [7].

Однією з найважливіших експлуатаційних характеристик поверхні є шорсткість. Наявність мікронерівностей та їх розмір позначаються на міцності, хімічній стійкості, стиранні і навіть зовнішньому вигляді деталі. Але будь-яка реальна поверхня після металообробки набуває западини та виступи, які відсутні на ідеально гладкій поверхні. Вперше визначальний вплив початкової мікрогеометрії робочих поверхонь на поведінку вузлів тертя досліджував Терцагі К. Сьогодні основними методами вимірювання параметрів поверхні твердих тіл є контактні профілометричні методи. Відомі механічні вимірювальні прилади, які працюють за контактним принципом сканування поверхні конусними голками, типу мікроскоп-профілометр «Калібр М-201», М-283, SURTRONIK-10, цілий спектр приладів англійської фірми «ТЭЙЛОР ХОБСОН» та багато інших [7].

Мета роботи – провести оцінку впливу мастильного матеріалу на мікрогеометричні параметри поверхні зразка сталі 30ХГСА в умовах ковзання за допомогою лазерного скануючого диференційно-фазового мікроскопа-профілометра

Матеріали та методика проведення експерименту. В якості мастильних матеріалів для досліджень було обрано трансмісійну оливу для гіпоїдних передач двох виробників.

Зразок №1 – олива трансмісійна ТАД-17і (в'язкість оливи за SAE – 85W-90). За хімічним складом дана олива – суміш мінеральної оливи із сірчано-фосфатною, депресорною й антипінною присадками. До складу оливи крім залишкової фракції, входить і дистильована олива, яку отримують фракційною

перегонкою мазуту. Олива призначена для змащування всіх типів передач (циліндричних, конічних, черв'ячних, спірально-конічних, гіпоїдних) автомобілів та іншої техніки. Робочий температурний режим оливи ТАД-17і становить від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Характеристики зразку 1 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники якості трансмісійної оливи ТАД-17і

Найменування показника	ТАД-17і
Відповідність класифікаціям: SAE (API)	80W-90 (GL-5)
В'язкість кінематична за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$, не менше	18,0
Індекс в'язкості, не менше	100
Масова частка сірки, %, не менше	1,0
Корозійний вплив на метали	Витримує
Температура, $^{\circ}\text{C}$: спалаху у відкритому тиглі, не нижче застигання, не вище	200 -15
Трибологічні характеристики на ЧШМ за $(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$: навантаження зварювання, Н, не менше	3283

Зразок №2 – олива трансмісійна «Бора Б» ТСгип (ТУ У 19.2-38474081-017:2018 / SAE 140 / API GL-5). За хімічним складом дана олива – це суміш високов'язкого ароматизованого продукту з дистильною оливою високого ступеня очищення та композицією присадок (Infineum C9425 (цинк-діалкілдитіофосфат), поліалкілметакрилатний сополімер та алкіламін). ТСгип - це універсальна багатофункціональна олива, що містить високоєфективні протизадирні присадки. Може використовуватися як всесезонна олива для гіпоїдних передач вантажних автомобілів та спеціальних машин, що працюють в умовах помірної кліматичної зони. Характеристики зразку 2 наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості трансмісійної оливи ТСгип

Найменування показника	ТСгип
В'язкість кінематична за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$, не менше	18,0
Вміст водорозчинних кислот і лугів	Відсутні
Масова частка сірки, %, не менше	1,5
Корозійний вплив на метали: сталі марок 40 або 50 за ДСТУ 1050 міді марки М2 за ДСТУ 859	Витримує Дає потемніння
Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$, не вище	-18
Вміст води, %	Відсутня

Зразки досліджуваної поверхні (матеріал пар тертя): штифти зі сталі 30ХГСА (HRC 48 - 52).

Умови тертя: навантаження 79,8 Н, швидкість 800 об/хв., тривалість експерименту – 30 хв. На рис. 1 зображена схема трибومترичної машини для проведення експерименту.

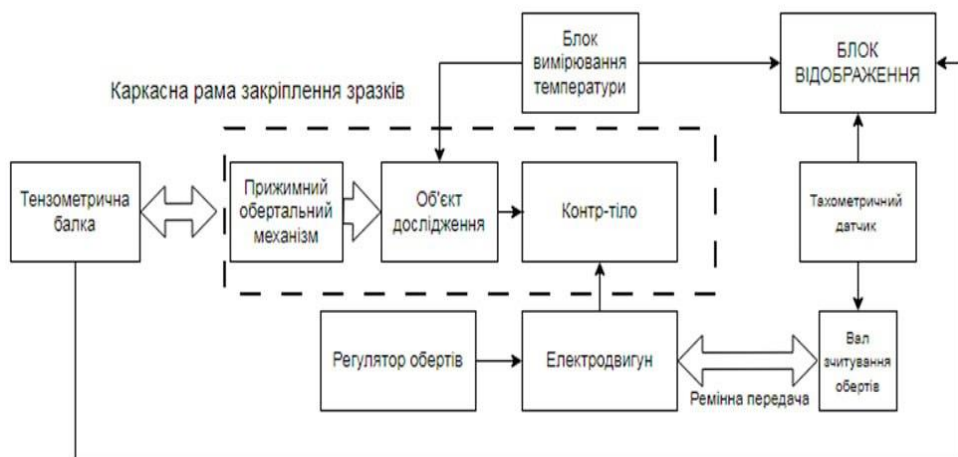


Рис 1 Схема трибومترичної машини

Обговорення основних результатів. Проаналізуємо мікрогеометричні характеристики початкової поверхні сталі та поверхні, яка утворюється в процесі структурної адаптації під час тертя; для цих досліджень було використано лазерний скануючий диференційно-фазовий мікроскоп-профілометр [8]. Оцінка мікрорельєфу поверхні проводилась для зразку сталі 30ХГСА – вихідної поверхні та поверхні тертя після напрацювання 30 хв при змащуванні досліджуваними оливами (рис. 2).

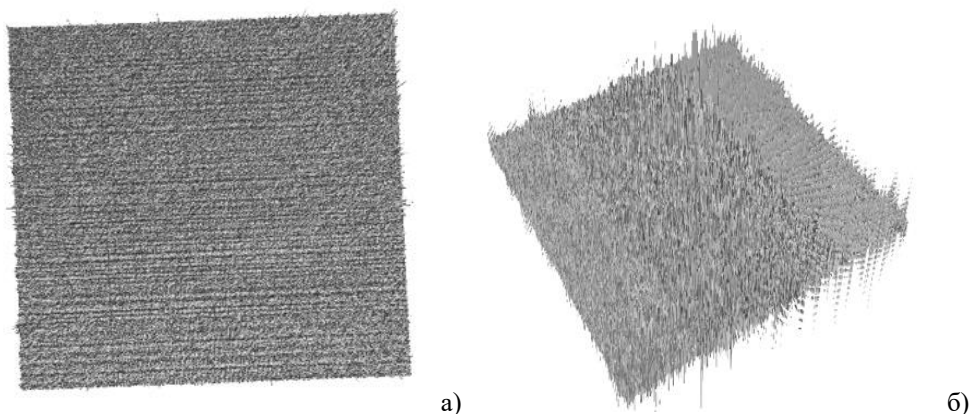


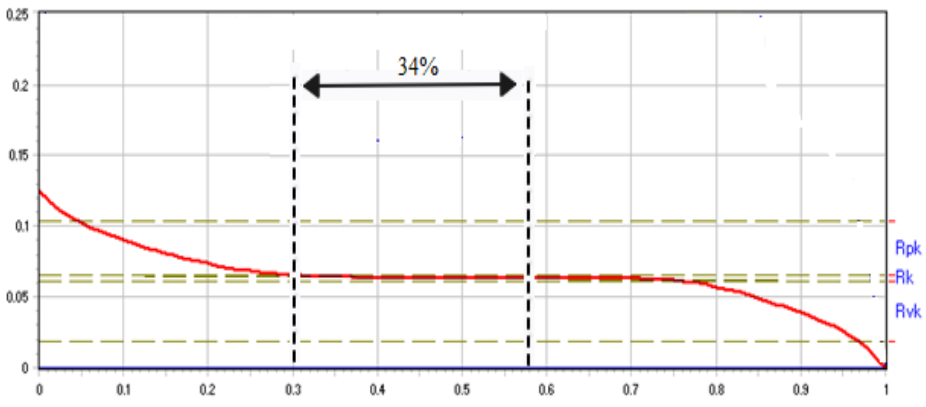
Рис 2 Вихідна поверхня сталі 30ХГСА (а) та доріжка тертя після напрацювання (б) при змащуванні оливою ТСгип.

Якість поверхневого шару сталі оцінювалась за параметрами, представленими в табл. 3 та на рис. 3

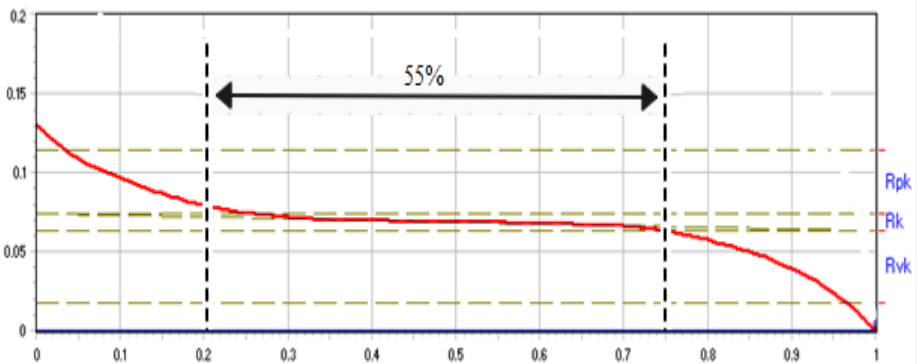
Таблиця 3

Параметри мікрорельєфу поверхневого шару сталі 30ХГСА

Параметри	Вихідна поверхня	Доріжка тертя	
		змащування ТАД 17і	змащування ТСгип
R_a , мкм (середнє арифметичне відхилення профілю)	0,013	0,016	0,003
R_{max} , мкм (найбільша висота профілю)	0,126	0,131	0,043
R_{pk} , мкм (усереднена висота виступів)	0,038	0,040	0,007
R_k , мкм (центральна висота мікронерівностей)	0,004	0,010	0,04
R_{vk} , мкм (усереднена глибина западин)	0,043	0,046	0,015
$\Delta M_r, \%$ – частка центральної області профілю згідно DIN 4776	34	55	75



а)



б)

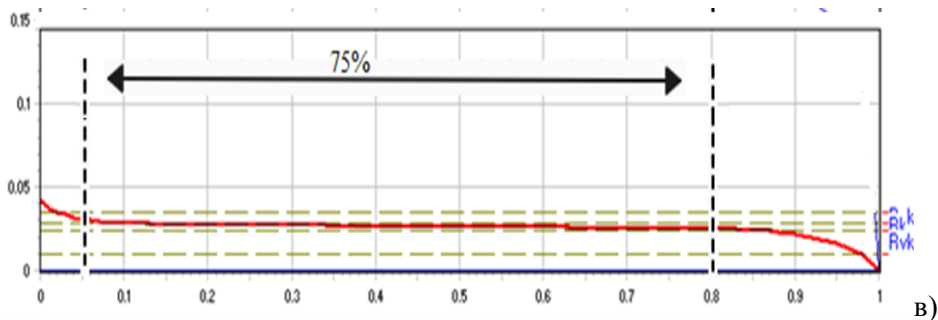


Рис. 3. Оцінка мікрорельєфу поверхні сталі 30ХГСА за кривою Аббота: (а) – вихідна поверхня, (б) – при змащуванні оливою ТАД 17, (в) – при змащуванні оливою ТСгип.

Аналіз мікрогеометричних показників доріжки тертя встановив, що, незалежно від типу мастильного матеріалу частка центральної області профілю згідно DIN 4776 підвищується. Механізм цього процесу полягає в виникненні на початковому етапі припрацювання значних питомих тисків на фактичних ділянках дотику поверхонь, що призводить до інтенсифікації пружно-пластичних деформацій та зношування.

Проведені дослідження показали, що мастильний матеріал суттєво впливає на процес структурної адаптації елементів трибоспряження, ключовим аспектом якого є формування мікрорельєфу контактних поверхонь під час припрацювання. Порівняльний аналіз мікрогеометричних характеристик вихідної поверхні та доріжки тертя виявив більш ефективну структурну адаптацію контактних поверхонь при використанні оливи ТСгип, у порівнянні з оливою ТАД 17, за наступними критеріями:

- в 3,05 рази зменшується найбільша висота профілю поверхневих шарів в процесі припрацювання;
- на 26 % збільшується частка основного матеріалу, яка визначає відносну опорну довжину профілю (рис.3).

Більш оптимальні параметри мікрорельєфу контактних поверхонь при змащуванні оливою ТСгип забезпечують більш рівномірний розподіл контактного навантаження, що підвищує зносостійкість поверхні: ваговий знос сталі 30ХГСА склав 0,0034 г при змащуванні оливою ТАД-17і та 0,0012 г при змащуванні оливою ТСгип (рис.4).

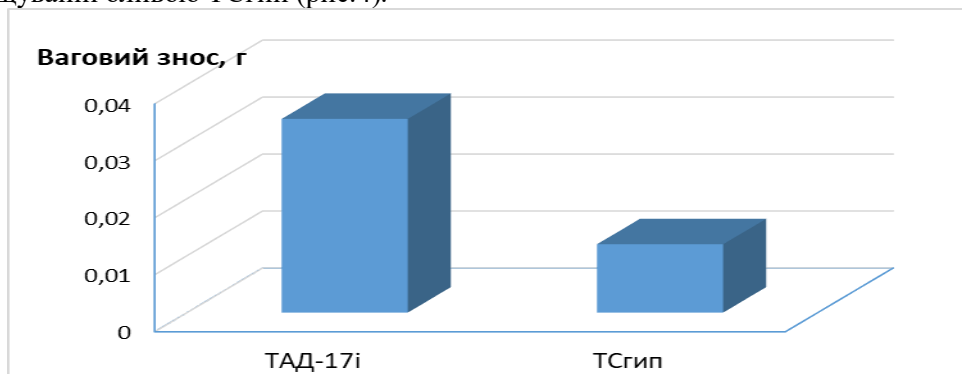


Рис. 4. Знос сталі 30ХГСА при змащуванні трансмісійними оливами в умовах ковзання.

Висновки

Визначено закономірності формування мікрогеометричних параметрів контактних поверхонь зі сталі 30ХГСА в умовах ковзання в період припрацювання залежно від типу трансмісійної оливи.

За допомогою лазерного скануючого диференційно-фазового мікроскопа-профілометра побудовано криві Аббота вихідної поверхні сталі та після тертя, за якими визначено, що застосування оливи ТСгип забезпечує зменшення найбільшої висоти профілю, усередненої висоти виступів, центральної висоти мікронерівностей, що позитивно впливає на збільшення зносостійкості контактної поверхні.

Список літератури

1. Jedliński Ł. Analysis of the influence of gear tooth friction on dynamic force in a spur gear. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1736. 012011. doi:10.1088/1742-6596/1736/1/012011
2. Tkachuk A.A. Increasing the Wear Resistance of Rolling Bearing Surfaces by Strengthening-Smoothing Treatment Methods: Abstract of the Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences: Specialty 05.02.08 / A.A. Tkachuk; Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk National Technical University. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2014. – 20 p.
3. R.Ye. Kostyunyk, O.U. Stelmakh, V.A. Radzievskiy, O.H. Kovalchuk, V.S. Bondar Methods and devices for experimental study of dynamic processes in boundary layers of non-contact sliding tribosystems Intercollegiate Collection "Scientific Notes". Lutsk, 2021, No. 71 DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.33
4. Chichos, H. System Analysis in Tribology / H. Chichos. – Moscow: Mir, 1982. – 351 p.
5. Device for Continuous Measurement of Lubricant Film Thickness in Sliding Bearings. Author's Certificate No. 91589 for Invention. Invention Bulletin, 1950, No. 16. Authors: D.S. Kodnir, L.M. Ronin, M.D. Medvinsky, E.F. Sommer.
6. Dmitrichenko, N.F., Mnatsakanov, R.G., Belous, V.S., Grabchak, V.G. Device for Measuring Lubricant Film Thickness in Bearings. RF Patent No. RU 2972. Published on 15.05.1992.
7. Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R.H., Yakobchuk O.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils. *Problems of Tribology*. 2021. V. 26, No 3/101. P.42-47. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-101-3-42-47>.
8. Laser Application Systems https://www.cnilaser.com/laser_system (Last assess - 25.05.2024)

Стаття надійшла до редакції 15.11.2024.

Малярчук Ігор Володимирович – аспірант кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів, Державний університет «Київський авіаційний інститут», пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 067 419 86 12 E-mail: 4619672@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-7953-6209>.

Igor Malyarchuk – graduate student of the Department of Applied Mechanics and Materials Engineering, «State university «Kyiv aviation institute», 1 LubomyraHuzar Ave., Kyiv, Ukraine, 03058, E-mail: 4619672@stud.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-7953-6209>

I. MALYARCHUK

EVALUATION OF FRICTION SURFACE MICRORELIEF PARAMETERS WHEN LUBRICATED WITH TRANSMISSION OILS

The article, presents an analysis of the microrelief characteristics of friction surfaces when lubricated with transmission oils containing anti-seizure additives. It explores existing methods for assessing surface quality and evaluates the application of the Abbott curve to analyze the structural adaptation of contact surfaces during friction. The study identifies patterns in the changes to microrelief and wear resistance based on the type of lubricant used.

The research highlights that friction between surfaces during gear transmission operation significantly affects the durability of gearboxes, emphasizing the importance of friction force measurement for predicting seizure resistance and longevity. Traditional assessments of surface roughness, such as average profile deviation (Ra) and maximum profile height (Rmax), are examined in conjunction with the physical and mechanical properties of the surface layer.

The paper discusses the limitations of conventional surface formation technologies, which may not always achieve the optimal combination of microgeometric characteristics and surface properties post-abrasive treatment. The findings underscore that achieving an ideal microgeometry and surface layer properties during the formation stage can lead to a more stable operational state and reduced initial wear period.

The objective of the study is to evaluate the impact of lubricants on the microgeometric parameters of a 30KhGSA steel sample under sliding conditions using a laser scanning differential-phase microscope-profiler.

The findings underscore that achieving an ideal microgeometry and surface layer properties during the formation stage can lead to a more stable operational state and reduced initial wear period.

Key words: wear resistance, microrelief, Abbott curve, lubricating material.

References

1. Jedliński Ł. Analysis of the influence of gear tooth friction on dynamic force in a spur gear. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1736. 012011. doi:10.1088/1742-6596/1736/1/012011
2. Tkachuk A.A. Increasing the Wear Resistance of Rolling Bearing Surfaces by Strengthening-Smoothing Treatment Methods: Abstract of the Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences: Specialty 05.02.08 / A.A. Tkachuk; Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk National Technical University. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2014. – 20 p.
3. R.Ye. Kostyuniyk, O.U. Stelmakh, V.A. Radzievskiy, O.H. Kovalchuk, V.S. Bondar Methods and devices for experimental study of dynamic processes in boundary layers of non-contact sliding tribosystems Intercollegiate Collection "Scientific Notes". Lutsk, 2021, No. 71 DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.33
4. Chichos, H. System Analysis in Tribology / H. Chichos. – Moscow: Mir, 1982. – 351 p.
5. Device for Continuous Measurement of Lubricant Film Thickness in Sliding Bearings. Author's Certificate No. 91589 for Invention. Invention Bulletin, 1950, No. 16. Authors: D.S. Kodnir, L.M. Ronin, M.D. Medvinsky, E.F. Sommer.
6. Dmitrichenko, N.F., Mnatsakanov, R.G., Belous, V.S., Grabchak, V.G. Device for Measuring Lubricant Film Thickness in Bearings. RF Patent No. RU 2972. Published on 15.05.1992.
7. Mikosianchyk O.O., Mnatsakanov R.H., Yakobchuk O.Ye. Development of methods for evaluation of lubrication properties of hydraulic aviation oils. *Problems of Tribology*. 2021. V. 26, No 3/101. P.42-47. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-101-3-42-47>
8. Laser Application Systems https://www.cnilaser.com/laser_system (Last assess - 25.05.2024)