

Слащук В.О.

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: slashchuk_viktor@ukr.net

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВПЛИВУ
КООПЕРАТИВНИХ МОД НА ПРОЦЕС
ТЕРТЯ В КОНТАКТНІЙ ДИНАМІЧНІЙ
СИСТЕМІ**

УДК 622-192:621:62-2:621.891

В роботі досліджено зміну коефіцієнта впливу нелокальних мод у процесі малоамплітудного тертя. Встановлено, що при терті поверхонь генеруються кооперативні хвилі механічної системи, які здатні впливати на перехід енергії від однієї моди тертя до іншої, що суттєво змінює характер і інтенсивність зношування поверхонь. Наведено спосіб визначення коефіцієнта впливу нелокальних мод, що враховує гібридний характер наведених мод.

Ключові слова: тертя, хвилі, петля гістерезису, коефіцієнт впливу кооперативних мод.

Вступ

Актуальною проблемою забезпечення надійності номінально-нерухомих з'єднань є фіксація процесів, що відбуваються у зоні контактування поверхонь. Зокрема, визначення фактичного стану поверхонь з'єднання без зупинки у роботу або розвантаження робочого вузла.

На сьогоднішній час існує багато способів оцінки стану поверхонь тертя. Одним із основних методів є визначення площі контакту. За способом вимірювання площу можна визначати адгезійним методом, фізико-хімічним, оптичним, електричним тощо. Також можна отримати деякі параметри стану трибовузла аналізуючи петлю гістерезису (площа петлі, кут нахилу петлі тощо).

Використання оптичного методу аналізу плями контакту має наступні переваги:

- точність оцінки;
- можливість використання комп'ютеризованих засобів оцінки. [1, 2]

Недоліками є:

- зупинка в роботі механічної системи;
- застосування спеціалізованого обладнання. [1, 2]

Проаналізувавши петлю гістерезису можна визначити кількість енергії, яка виділилась в контакті. Провівши аналіз форми петлі, визначають ділянки проковзування, коефіцієнт тертя або коефіцієнт проковзування [3, 4, 5].

При аналізі поверхонь тертя не враховуються наведені моди коливань механічної системи, які безпосередньо виникають у процесі роботи всієї системи. Особливістю прояву мод коливань є те, що вони не є сталими. В залежності від стану кожного елемента механічної системи проявляються «індивідуальні» моди, що змінюють свою частоту протягом усього часу роботи. Навіть у найпростішій механічній системі спостерігаються «гібридні(змішані)» частоти коливань [6].

Моди, що виникають у системі, формують певний кооператив, що утворює два, або три частотні кластери (низькочастотний, середньочастотний, високочастотний). Одним із найпростіших способів фіксації всього спектру частот коливань є акустичний метод [7, 8, 9].

Методика дослідження

Нормативною формою руху в даній системі є зворотно-поступальна форма контактного проковзування, часткового або повного, Що, врешті, за великих амплітуд переходить в реверсивне тертя. Однак в умовах нескінченної кількості степенів вільності розподіленої системи тертя наводиться велика кількість інших форм руху, які впливають на номінальну. Відповідно, це проявляється в «стохастизації» петлі гістерезису умовно овальної форми.

Для аналізу стану трибовузла з урахуванням впливу кооперативних мод, які виникають в процесі роботи, запропоновано метод аналізу петлі гістерезису.

Коефіцієнт впливу наведених мод на процес тертя розраховується за наступною формулою:

$$k = \frac{S_1 - S_2}{(S_1 + S_2)/2}, \quad (1)$$

де S_1 – площа описаного овала;

S_2 – площа вписаного овала.

Візуально, формула розрахунку показана на рис. 1.

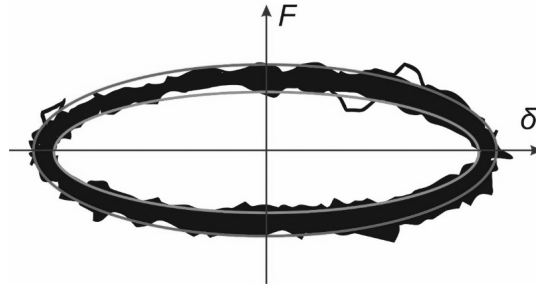


Рис. 1 – Розрахунок коефіцієнта впливу кооперативних мод:
вісь F – сила тертя;
 δ – зміщення зразка

Постановка експерименту

Експерименти проводились на спеціалізованій установці для випробувань матеріалів в умовах динамічного контактного навантаження [10]. Робоча схема установки показана на рис. 2.

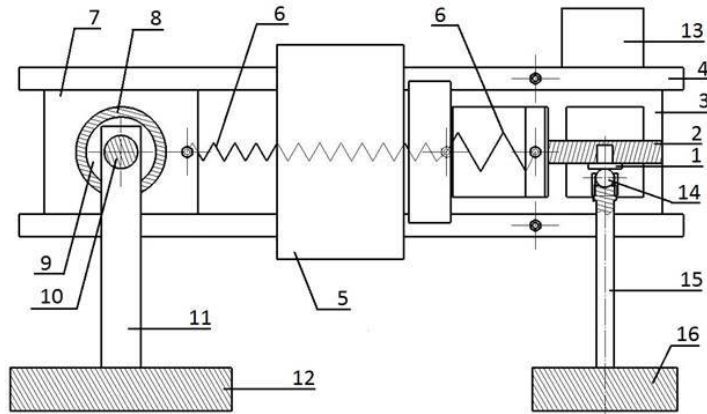


Рис. 2 – Установка для випробувань матеріалів
в умовах динамічного контактного навантаження

Експеримент проводився за схемою «площина-кулька» (рис. 3). Зразок закріплювався у рухомій каретці, а кулька нерухомо зіцімлювалась у тензобалці.

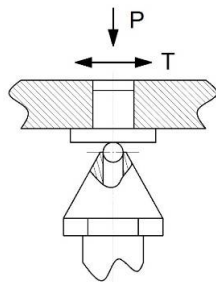


Рис. 3 – Схема трибо-вузла:
 P – притискне зусилля;
 T – рух зразка

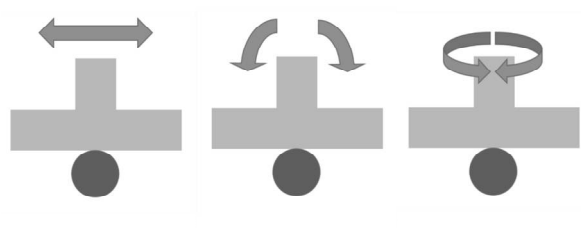


Рис. 4 – Моді, що виникають в контактї

Форми руху (моди), що виникають в самому контактї показані на рис. 4. Вони проявляються у вигляді зміщення під певним кутом відносно заданого напрямку руху, перекосу відносно осї сили притискання, кручення навколо осї сили притискання, а також комбінації(гібридизації) всіх окремих мод, які входять у загальний кооператив мод механічної системи.

Експерименти проводились із зразками сталі, твердого сплаву та напиленя на основі алюмінію. Типи зразків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

| Зразки для експериментів | | |
|--------------------------|--------|------------------------------|
| № | Назва | Тип |
| 1 | 4W4 | Напилення |
| 2 | 5W5 | Напилення |
| 3 | 6W6 | Напилення |
| 4 | W15 | Напилення |
| 5 | W16 | Напилення |
| 6 | W17 | Напилення |
| 7 | 30ХГСА | Конструкційна легована сталь |
| 8 | ВК6 | Твердий спечений сплав |

Зразки 4W4, 5W5, 6W6, W15, W16, W17 – багат шарове лазерне наплавлення порошку AlSi30 на підкладку алюмінієвого сплаву АД31. Параметри наплавлення показані в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри зразків із напиленням наплавлення

| Назва | Потужність напилення, Вт. | Швидкість, м/хв | Кількість порошок, г/хв | Кількість шарів |
|-------|---------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| 4W4 | 112,5 | 12 | 0,15 | 2 |
| 5W5 | 112,5 | 12 | 0,15 | 20 |
| 6W6 | 112,5 | 12 | 0,15 | 30 |
| W15 | 112,5 | 12 | 0,6 | 2 |
| W16 | 112,5 | 12 | 0,6 | 20 |
| W17 | 112,5 | 12 | 0,6 | 1 |

У якості контр-зразка використовувалась кулька ШХ15 діаметром 13 мм.

Результати досліджень

В ході проведення експериментів було встановлено, що петлі гістерезису, на основі яких вираховується коефіцієнт k , мають або згладжену форму, або з великою кількістю викидів, що показано на рисунках 5-8. Згладжену форму мають петлі зразків 5W5 (продовж всього часу експерименту), 4W4, ВК6 (до моменту поки кооператив мод не перевищує величину заданої моди руху зразка ≈ 6120000 циклів для 4W4 і ≈ 1800000 для ВК6). Петлі з викидами мають зразки 6W6, W15, W16, 30ХГСА (впродовж всього часу експерименту). Наявність викидів свідчить про підвищення впливу сторонніх мод над заданою, що, як правило, сприяє інтенсифікації процесу зношування.

Також було встановлено, що напилення W15 зношується на протязі такого ж часу, що й зразок сталі 30ХГСА (720000 циклів W15 та 558000 циклів 30ХГСА).

Плями контакту двох зразків показані на рис. 5.

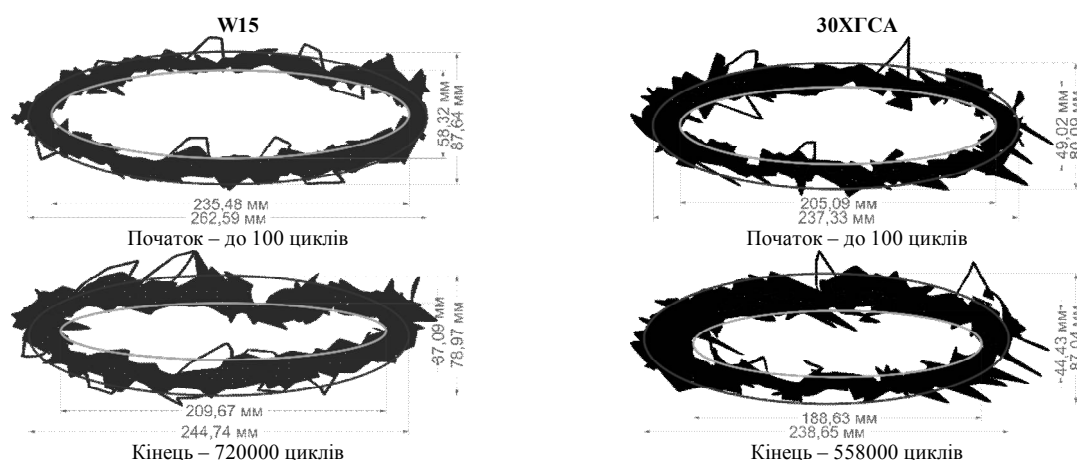


Рис. 5 – Зношування зразків W15 та 30ХГСА

Напилення 4W4 зношувалось аналогічно із напиленням W16. Плями контакту двох зразків показано на рис. 6.

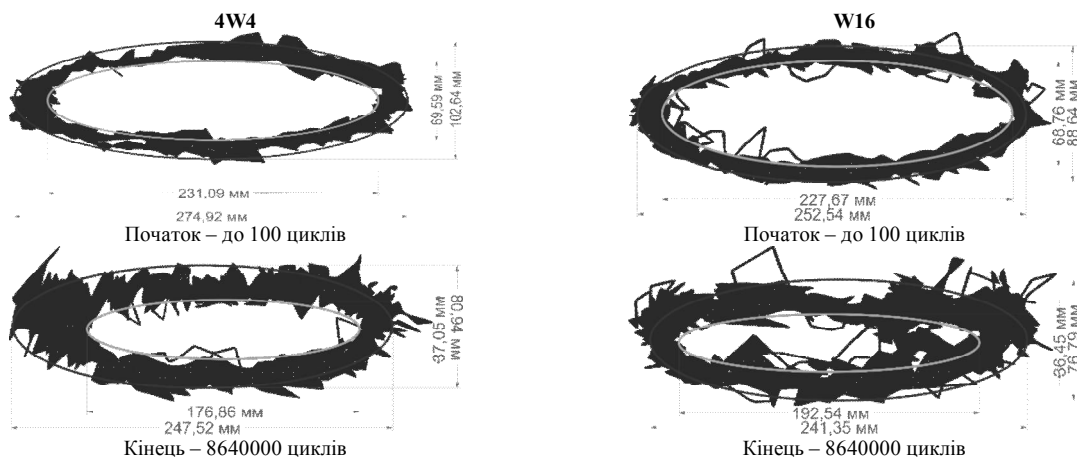


Рис. 6 – Зношування зразків 4W4 та W16

Напилення W17 зношувалось аналогічно із сплавом BK6. Плями контакту двох зразків показано на рис. 7.

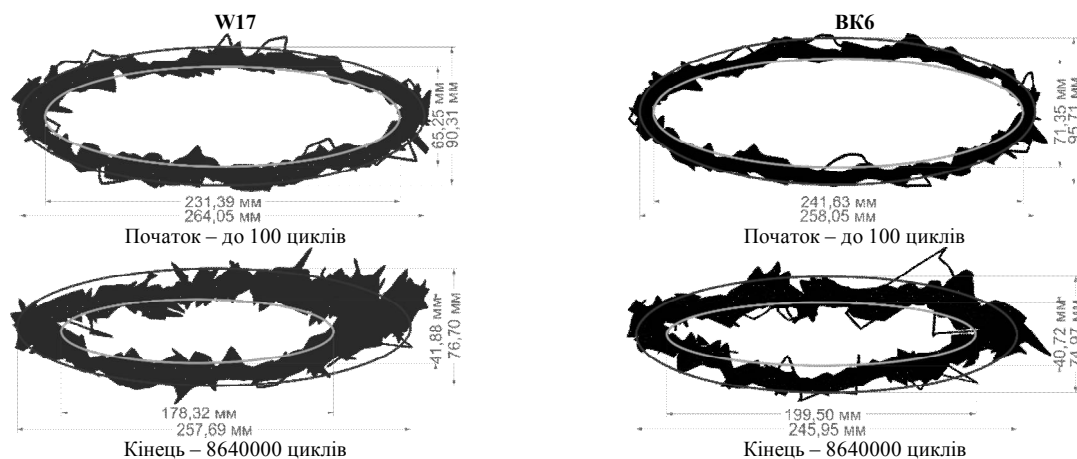


Рис. 7 – Зношування зразків W17 та BK6

Напилення 6W6 та 5W5 не зносились. Петлі гістерезису зразків 6W6 та 5W5 представлені на рис. 8.

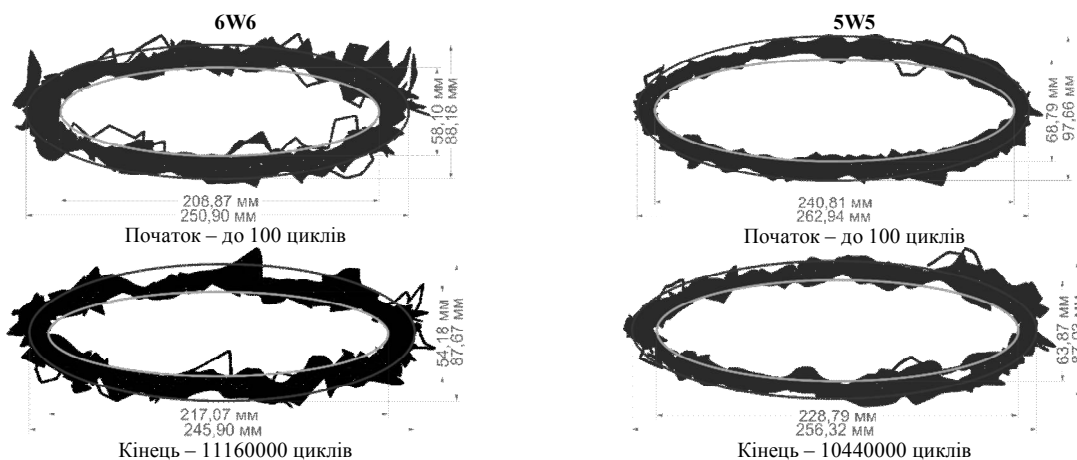


Рис. 7 – Зношування зразків 6W6 та 5W5

Загальний графік зношування зразків через розрахований коефіцієнт k показаний на рис. 9.

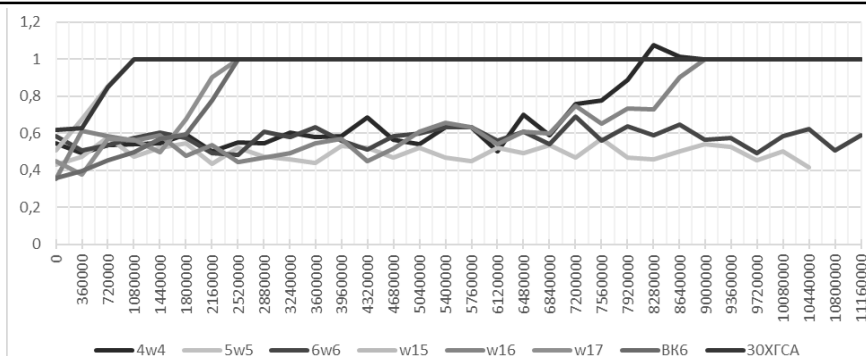


Рис. 9 – Графік зношування всіх зразків

Стійкість зразків із напиленням суттєво залежить від швидкості подачі порошку і кількості напилених шарів. Варіацією останніх можна на порядок підняти стійкість поверхневих шарів до зношування при малоамплітудному фретингу.

Аналіз результатів та висновки

Описаний спосіб аналізу петель гістерезису не потребує зупинок у роботі механічної системи для зняття показників, аналіз петель простий у розрахунку.

У ході експериментів було встановлено, що контури петель гістерезису можуть мати як згладжену форму, так і велику кількість викидів.

Реальна динамічна контактна взаємодія відрізняється від кінематичної взаємодії наявністю наведених форм руху, які утворюють певний динамічний кооператив форм руху, впливаючи на характер тертя, що виявляється через коефіцієнт k .

На завершальній стадії зношування інтенсифікується прояв сторонніх наведених мод. Він кількісно проявляється в рості коефіцієнта k у 2 - 3 рази. Це говорить про якісну зміну характеру динамічної взаємодії, коли ненормативні моди за величиною порівнянні із основною (заданою).

Проведена модифікація поверхонь здатна на порядок збільшити ресурс (тривалість) роботи номінально-нерухомого фрикційного з'єднання. Але підбір параметрів модифікації необхідно базувати на експериментальних дослідженнях.

Література

1. Слащук В.О., Слащук О.О. Аналіз плям фретинг-контакту двох спряжених поверхонь на основі спеціалізованого програмного забезпечення. – Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – № 6. – 2015. – С. 19-23.
2. Холявко В. В., Владимирський І. А., Жабинська О. О. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів. – К.: Центр учбової літератури. – 2016. – С. 23-60.
3. Шалапко Ю.І. Еволюційні моделі фретинг-процесу у номінально-нерухомому фрикційному контакті: Дис. д-ра наук: 05.02.04 – 2009.
4. Тарасова, Т. В. Износостойкость в условиях абразивного изнашивания и фреттинга образцов из жаропрочного кобальтового сплава, полученных методом селективного лазерного плавления / Т. В. Тарасова, А. П. Назаров, Ю. И. Шалапко // Трение и износ. – 2014. – Т. 35, № 5. – С. 546-556.
5. Слащук В.О., Слащук О.О. Визначення кількісних характеристик процесу тертя в режимі реального часу // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк, 2016. – № 54. – С. 293-297.
6. Слащук В.О., Заспа Ю.П. Порушення цілісності номінально-нерухомого контакту при тепловому розширенні // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – Хмельницький національний університет. – 2016. – №2. – С. 52-58.
7. A.V. Dvkhа, Yu.P. Zaspа, V.O. Slashchuk. Triboacoustic Control of Fretting. *Trenie i Izнос*, 2018, Vol. 39, No. 2, pp. 213–216.
8. Слащук В.О., Слащук О.О. Акусто - емісійний аналіз перехідних процесів роботи двигуна внутрішнього згорання // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2016. – № 3. – С. 52-58.
9. Слащук В.О., Слащук О.О., Заспа Ю.П. Контактна генерація електромагнітного поля та внутрішніх хвиль в процесі токарної обробки сталей // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки" (Технічні науки). – Луцьк. – № 58. – С. 284-288.
10. Установка для випробувань матеріалів в умовах динамічного контактного навантаження: Патент на корисну модель №94006, Україна у 2014 04758; заяв. 27.05.2014, опубл. 27.10.2014, Бюд. №20. Курской В.С., Слащук В.О., Слащук О.О.

Надійшла в редакцію 21.06.2018

Slashchuk V.O. Definition of the coefficient of effect for cooperative modes for friction process in the contact dynamic system.

In this paper, the change in the coefficient of influence of nonlocal modes in the process of low-amplitude friction is investigated. It is established that when friction surfaces are generated waves of the mechanical system, which can affect the transition of energy from one mode friction to another, which significantly changes the nature and intensity of wear of surfaces. The method of determining the coefficient of influence of nonlocal modes is given, taking into account the hybrid nature of these mods.

Actual of the problem of ensuring the reliability of nominally-immovable connections is to fix the processes occurring in the contact area of the surfaces. In particular, the determination of the actual state of the connection of the connection without stopping the work or unloading the workstation.

The described method of analysis of hysteresis loops does not require stopping of the mechanical system for the removal of indicators, the analysis of loops is easy to calculate.

The real dynamic contact interaction differs from the kinematic interaction by the presence of the given modes of motion, which form a certain dynamic cooperative form of motion, affecting the nature of the teeth, which is manifested through the coefficient.

The real dynamic contact interaction differs from the kinematic interaction by the presence of the given modes of motion, which form a certain dynamic cooperation.

At the final stage of wear, the manifestation of third-party mods is intensified. He quantitatively manifests itself in the growth of the factor of 2-3 times. This indicates a qualitative change in the nature of the dynamic interaction, when the non-standard modes in magnitude are compared with the main (given).

The modification of surfaces is capable of increasing the resource (duration) of a non-mortar immobile friction connection by an order of magnitude. But the selection of modification parameters must be based on experimental studies.

Key words: friction, waves, hysteresis loop, the coefficient of effect for cooperative modes.

References

1. Slashchuk V.O., Slashchuk O.O. Analiz pliam fretynh-kontaktu dvokh spriazhenykh poverkhon na osnovi spetsializovanoho prohramnoho zabezpechennia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. №6, 2015. st. 19-23.
2. Kholiavko V. V., Vladymyrskiy I. A., Zhabynska O. O. Fizychni vlastyivosti ta metody doslidzhennia materialiv. Navchalnyi posibnyk. Kyiv, Tsentр uchbovoi literatury. 2016. St. 23-60.
3. Shalapko Yu.I. Evoliutsiini modeli fretynh-protsezu u nominalno-nerukhomomu fryktsiinomu kontakti : Dys. d-ra nauk: 05.02.04. 2009.
4. Tarasova, T. V. Yznosostoikost v uslovyakh abrazyvnoho yznashyvanyia y fretynha obraztsov yz zharoprochnoho kobaltovoho splava, poluchennykh metodom selektyvnoho lazernoho plavlennia. T. V. Tarasova, A. P. Nazarov, Yu. Y. Shalapko. Trenye y yznos. 2014. T. 35, № 5. S. 546-556.
5. Slashchuk V.O., Slashchuk O.O. Vyznachennia kilkisnykh kharakterystyk protsezu tertia v rezhymy realnoho chasu. Mizhvuzivskiy zbirnyk "Naukovi notatky". Lutsk, 2016. Vypusk № 54. St. 293-297.
6. Slashchuk V.O., Zaspа Yu.P. Porushennia tsilisnosti nominalno-nerukhomoho kontaktu pry teplovomu rozshyrenni. Problemy trybolohii (Problems of Tribology), Khmelnytskyi natsionalnyi universytet, 2016, №2, st. 52-58.
7. A.V. Dykha, Yu.P. Zaspа, V.O. Slashchuk. Triboacoustic Control of Fretting. Trenie i Iznos, 2018, Vol. 39, No. 2, pp. 213–216.
8. Slashchuk V.O., Slashchuk O.O., Akusto - emisiyni analiz perekhidnykh protsesiv roboty dvyhuna vnutrishnoho zghorannia Problemy trybolohii (Problems of Tribology) 2016, № 3, st. 52-58.
9. Slashchuk V.O. Slashchuk O.O., Zaspа Yu.P. Kontaktna heneratsiia elektromahnitnoho polia ta vnutrishnykh khvyl v protsesi tokarnoi obrobky stalei. Mizhvuzivskiy zbirnyk "Naukovi notatky" (Tekhnichni nauky) Vypusk 58, Lutsk 2017. S. 284-288.
10. Ustanovka dlia vyprobuvan materialiv v umovakh dynamichnoho kontaktnoho navantazhennia: Patent na korysnu model №94006, Ukraina u 2014 04758; zaiav. 27.05.2014, opubl. 27.10.2014, Biud. №20. Kurskoi V.S., Slashchuk V.O., Slashchuk O.O.