

Криштопа С.І.

Івано - Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано - Франківськ, Україна
E-mail: retes@mail.ru

**ВПЛИВ НА ФРИКЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ТРИБОЕЛЕКТРИЧНИХ ЯВИЩ**

УДК 621.891

Наведені результати експериментальних досліджень фрикційних характеристик контактів металополімерних пар тертя барабанно- та стрічково - колодкових гальм технологічного транспорту з урахуванням трибоелектричних явищ.

Ключові слова: металополімерні пари тертя, барабанно - колодкове гальмо, стрічково - колодкове гальмо, трибосистема, трибоелектричні процеси.

Вступ

Проблема з'ясування механізмів фрикційної взаємодії ще далека від остаточного вирішення. Одна з причин пов'язана з тим, що в процесі тертя, внаслідок електричних явищ, які мають місце у фрикційному контакті металополімерних трибоспрямижень, відбуваються істотні зміни властивостей поверхневих шарів металополімерних матеріалів, що суттєво впливає на їхні трибологічні характеристики. Дослідженню трибоелектричних явищ металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв присвячено роботи значної кількості вчених, проте в багатьох дослідженнях наводиться суперечлива інформація, а цілий ряд питань трибоелектричної фрикційної взаємодії залишено поза увагою. Зокрема дотепер не встановлені механізми впливу трибоелектричних явищ на знософрикційні властивості металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв. Встановлення закономірностей трибоелектричної взаємодії пар тертя гальм є актуальним с точки зору реалізації нових методів підвищення знософрикційних властивостей металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв.

Мета і задачі роботи

Мета роботи – дослідження фрикційних властивостей поверхневих шарів металополімерних пар тертя, які перебувають в процесі механічної, теплової та електричної взаємодії, у фрикційних вузлах гальмівних пристроїв з урахуванням трибоелектричних явищ.

Для вирішення цілі виносяться такі задачі:

- дослідити контактну різницю потенціалів в парах тертя гальмівних пристроїв з урахуванням механічних і теплових градієнтів, що виникають у поверхневих шарах фрикційних пар;
- з'ясувати зв'язки імпульсних струмів у поверхневих шарах гальмівних пристроїв та температурних градієнтів в металополімерних структурах;
- встановити вплив на динамічні коефіцієнти тертя та гальмівні моменти електричних і теплових струмів на поверхнях тертя гальмівних пристроїв, зміни типів контактів поверхонь та напрямків імпульсів струмів в гальмівних парах технологічного транспорту.

Стан проблеми

На сьогоднішній час достатньо широко проведені дослідження процесів тертя під час контакту двох металів, металів та напівпровідників. Вивченню трибоелектричних процесів в парах тертя з шарами мастил значна увага приділена в роботі [1]. Досліджуються електричні поля, які виникають в контактній зоні наявності змащувальних матеріалів та трибоелектричні процеси під час тертя зразків з металів. Були встановлені величини циркулюючих трибострумів під час тертя з мастилами та без них для різних металів. З'ясовано, що при використанні засобів зниження трибострумів зносостійкість металів, в середньому, збільшувалась вдвічі.

У [2] розглядалися трибоелектричні процеси у фрикційних парах з однорідної сталі в умовах сухого тертя. Аналізувались основні причини виникнення електричних струмів під час тертя та різання металів, вплив електричних властивостей, геометричних параметрів, режимів різання на величину електричних струмів. Засоби для компенсації зношування металевих пар тертя шляхом використання електричних явищ для переміщення диспергованих частинок металів на поверхні фрикційного контакту розглядаються в роботі [3]. Констатується обов'язкова наявність електричних полів під час фрикційного контакту пар «метал - метал».

Значна увага дослідниками приділена електрохімічним процесам під час тертя. Так, у [4] була поставлена задача розрахунку електричної провідності шорсткого контакту. та виконані дослідження

електротермомеханічного зношування, які пояснені з електрохімічних позицій та встановлені зв'язки між зносостійкістю металів та величиною гальваноЕРС. У роботі розглядалися електрохімічні процеси, що мали місце в контакті металів з рідинами та встановлені закономірності виділення та переміщення іонів та з електрохімічних позицій розглянуто зношування металевих поверхонь з врахуванням їх заземленого та ізолизованого стану. Запропоновані залежності для визначення електричного опору площі фактичного контакту. Внаслідок складності визначення опору поверхневих плівок, встановлені закономірності є вірними, в основному, для благородних металів.

Дослідження трибоелектричних процесів в парах «полімер - полімер» та «метал - полімер» виконувались значно менш ґрунтовно. У [5] досліджувались електрична провідність в металополімерних парах тертя та з'ясовано, що провідність чистих полімерів є невисокою. Але за наявності деструкції, продуктів дисоціації та забруднень провідність полімерів різко зростає. Механізм циркуляції електричних струмів через контакт вищезазначених фрикційних пар обумовлений проходженням електронів від матеріалу з меншою роботою виходу електронів до матеріалу з більшою роботою та характеристиками фрикційного контакту, чому також присвячений ряд робіт. Так, в [6] вивчалась емісія електронів з поверхонь твердих тіл під час тертя. З'ясовано, що за даними роботи виходу електронів з поверхонь тертя можна оцінювати стан та дефекти поверхонь, а також визначати рівень поверхневої енергії. В роботі досліджувався вплив трибоелектричних явищ на руйнування полімерів під час фрикційної взаємодії. З'ясовано, що під час тертя відбувається руйнування молекул полімеру, що створює емісію електронів з поверхонь.

ґрунтовно електричні властивості полімерів вивчались у [7]. З'ясовано, що провідність полімерів збільшується до двох порядків при наявності сполук міді, а сорбція полімером води також приводить до збільшення провідності полімерів на декілька порядків. Встановлено, що провідність полімерів збільшується на порядки при перевищенні температури плавлення. У роботі наведений аналітичний опис циркулюючих струмів та вивчалась електрична провідність полімерів у залежності від зміни температур та тисків. Трибоелектричні явища в металополімерних парах тертя суттєво впливають на процеси масопереносу та склад граничного шару, які, у свою чергу, визначають напрямки та величини трибострумів. Так, в [8] наведений вплив явищ електризації на процеси масопереносу в металополімерних парах тертя. Досліджувалось як утворення полімерних плівок на поверхні металів, так і перенесення металів на поверхню полімеру. Але пояснення механізму зміни трибоЕРС немає, робляться тільки припущення. Але експериментальні дані у роботах [7, 8] та ін. не завжди співпадали з теоретичними розрахунками.

Виділення нерозв'язаної раніше частини загальної проблеми

Необхідно зазначити, що аналіз відповідних джерел свідчить про невизначеність механізмів трибоелектризації металополімерних пар тертя та суперечливість значної кількості відомих результатів досліджень. При цьому необхідно зазначити, що стан поверхні для полімерних накладок та металевих фрикційних елементів характеризується різною фізичною природою, а між трибоелектричними процесами та знософрикційними характеристиками, станом поверхонь металополімерних пар тертя на теперішній час існують досить неоднозначні, складні та суперечливі взаємозв'язки, які суттєво впливають на динамічні коефіцієнти тертя та гальмівні моменти.

Вибір об'єктів для випробувань, необхідного устаткування, вимірювальних приладів і апаратури

Експериментальні дослідження трибоелектричних процесів були проведені на спеціально створеному лабораторному стенді, що моделював стрічково - колодкове гальмо технологічного транспорту та на серійному універсальному гальмівному стенді моделі КІ-8964 ГОСНИТИ, що дозволяли досліджувати металополімерні пар тертя барабанно-колодкових та дискових гальм. З урахуванням задач досліджень був спроектований та виготовлений гальмівний стенд з модельним барабанно-колодковим гальмом (рис. 1). Стенд призначений для встановлення закономірностей характеристик електричних і теплових струмів під час електротермомеханічного тертя.

Для дослідження фрикційних вузлів барабанно- та дисково-колодкових гальм транспортних засобів використовувався діагностичний стенд гальмівних систем КІ-8964. Стенд моделі КІ-8964 призначений для визначення технічного стану гальмівних систем автомобілів шляхом вимірювання гальмівної сили, часу спрацювання приводу і сили натискання на педаль гальм.

Для фіксації даних зміни контактної різниці потенціалів пар тертя на персональний комп'ютер, контактні поверхні підключалися до ноутбука через аналого - цифровий перетворювач комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope II. Одержані значення контактної різниці потенціалів пар тертя фіксувались в режимі реального часу, записувались на жорсткий диск комп'ютера та оброблялись за допомогою програмного забезпечення комп'ютерного осцилографа USB Oscilloscope II. Вимірювання трибострумів здійснювалось за допомогою наноамперметра Ф-195. Кількість проведених експериментів була достатня для отримання результатів із довірчою ймовірністю 0,95.

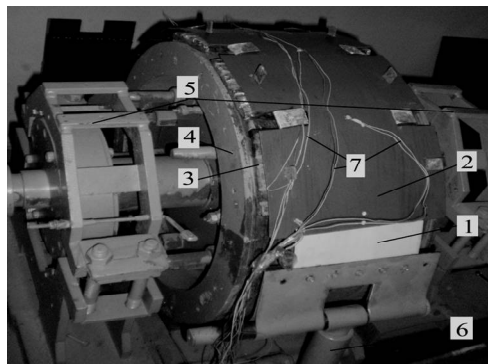


Рис. 1 – Загальний вигляд модельного стрічково - колодкового гальма:
 1 – основна гальмівна стрічка, 2 – додаткова гальмівна стрічка;
 3 – фрикційні накладки; 4 – гальмівний шків;
 5 – опори гальмівного барабану;
 6 – пристрій навантаження; 7 – електроди

Результати експериментальних досліджень фрикційних властивостей пар тертя гальмівних пристроїв в лабораторних і промислових умовах з врахування трибоелектричних процесів

З'ясовано, що контактна різниця потенціалів складається з постійної та імпульсної (або змінної) складової. Постійна складова залежить, в основному, від матеріалів контактуючих поверхонь та поверхневих температур, а імпульсна, переважно, залежить від флуктуацій електротермічного опору в контакті та коливань енергії поверхонь тертя. Імпульсна складова істотно більше впливає на знософрикційні властивості пар тертя фрикційних вузлів, ніж величина постійної складової контактної різниці потенціалів.

Встановлено, що циркулюючі трибоструми призводять до підвищення поверхневих температур в металополімерних парах тертя, а використання засобів придушення трибострумів дозволяє знизити температури фрикційних поверхонь. В промислових умовах досліджені закономірності зміни температур обода шківа і фрикційних накладок від кількості спущених свічок в серійному і в удосконаленому фрикційному вузлі стрічково-колодкового гальма лебідки агрегату АОРС-80 з системою зниження трибострумів.

На рис. 2 проілюстровані закономірності зміни поверхневих температур фрикційних пар „сталь 35 ХМЛ – ретинакс ФК-24А” для серійного стрічково-колодкового гальма та стрічково-колодкового гальма з системою зниження трибострумів від кількості циклів гальмувань m . Величини генерованих струмів: для серійного стрічково-колодкового гальма – 60 нА, для стрічково-колодкового гальма з системою зниження трибострумів – 10 нА. Максимальні поверхневі температури на робочій поверхні обода гальмівного шківа удосконаленого стрічково-колодкового гальма лебідки агрегату АОРС-80 з системою зниження трибострумів на 14,5 %, а фрикційних накладок на 14,3 % менші, ніж у серійного стрічково-колодкового гальма.

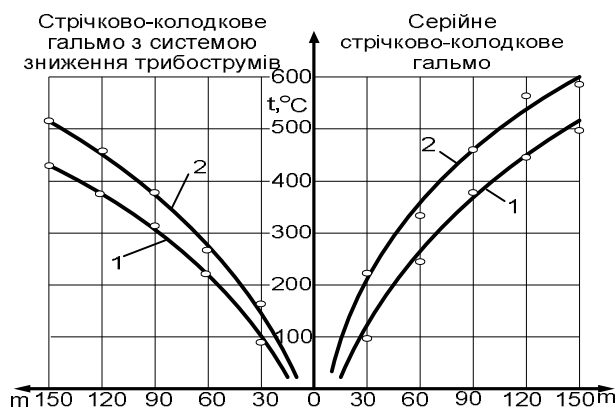


Рис. 2 – Закономірності зміни поверхневих температур гальмівних пар „сталь 35 ХМЛ – ретинакс ФК-24А” для серійного стрічково-колодкового гальма та стрічково - колодкового гальма з системою зниження трибострумів від кількості циклів гальмувань m та генерованих струмів:
 1 – $I = 10$ нА;
 2 – $I = 60$ нА

Одними з основних експлуатаційних параметрів стрічково-колодкових гальм є натяги збігаючої S_3 і набігаючої S_H гілок гальмівної стрічки, різниця яких визначає силу тертя ($F_T = S_H - S_3$). При цьому один з натягів гальмівної стрічки визначається заданою величиною, а другий параметр розраховується. Переважно визначають натяг набігаючої гілки стрічки за залежністю Ейлера:

$$S_H = S_3 e^{f\alpha} \tag{1}$$

При цьому динамічний коефіцієнт тертя визначається за залежністю вигляду:

$$f = \frac{S_H - S_3}{N} = \frac{F_T}{N} \tag{2}$$

На рис. 3 проілюстровані закономірності зміни величин динамічного коефіцієнту тертя фрикційних пар „сталь 14ХГ2НМЛ – шифр 1-43-60А” та „сталь 34 Л – ретинак ФК-24А” гальмівних пристроїв агрегатів АПРС-50КАМ та АОРС-80 від контактної різниці потенціалів та поверхневої температури. На рис. 4 зображені закономірності зміни динамічного коефіцієнту тертя фрикційних пар „сталь 34 Л – ретинак ФК-24А” та „сталь 60Г – шифр 6КФ-59” гальмівних пристроїв агрегатів УПА-60 та А2-32 від величин швидкостей ковзання та генерованих струмів.

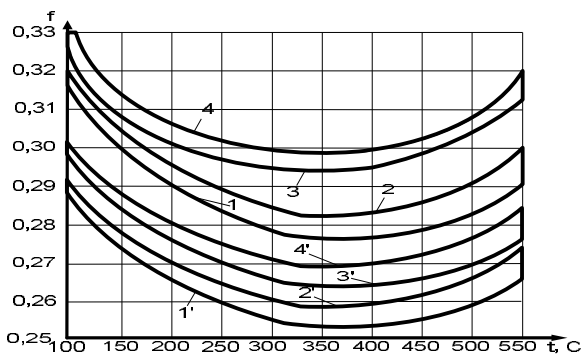


Рис. 3 – Закономірності зміни величин динамічного коефіцієнту тертя гальмівних пристроїв від контактної різниці потенціалів пар „сталь 14ХГ2НМЛ – шифр 1-43-60А” та „сталь 34 Л – ретинак ФК-24А”:
1, 1' – $U=20$ мВ; 2, 2' – $U=15$ мВ;
3, 3' – $U=10$ мВ; 4, 4' – $U=5$ мВ

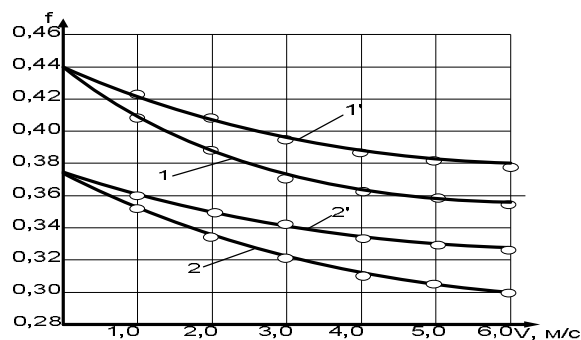


Рис. 4 – Закономірності зміни динамічного коефіцієнту тертя фрикційних пар „сталь 60Г – шифр 6КФ-59” (1) та „сталь 34 Л – ретинак ФК-24А” (2) гальмівних пристроїв від величин швидкостей ковзання та генерованих струмів з пристроєм деполяризації:
1 – $I=70$ нА, 1' – $I=15$ нА;
2 – $I=60$ нА, 2' – $I=10$ нА

Сумарний гальмівний момент, який розвивається парами тертя стрічково-колодкового гальма, визначається за залежністю:

$$\sum_n M_T = \sum_n F_T R_w \tag{3}$$

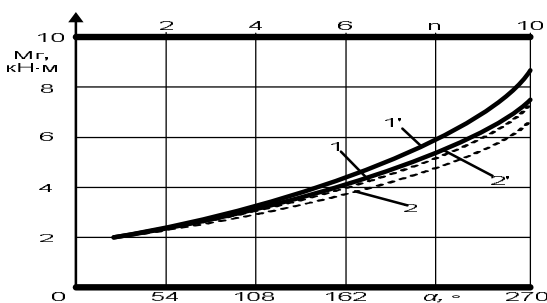


Рис. 5 – Закономірності зміни величин гальмівних моментів, що створюються окремими фрикційними накладками n стрічково-колодкового гальма з десятьма встановленими накладками по довжині гальмівної стрічки для пар „сталь 35 ХМЛ – ретинак ФК-16Л” з пристроєм зниження трибострумів:
1, 1' – при поверхневих температурах 150 °С та контактній різниці потенціалів, відповідно, 20 та 5 мВ;
2, 2' – при поверхневих температурах 350 °С та контактній різниці потенціалів, відповідно, 15 та 3 мВ

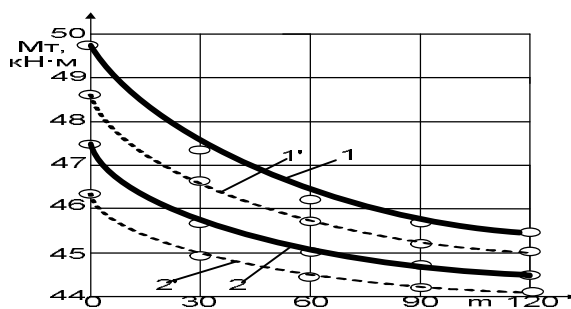


Рис. 6 – Закономірності зміни сумарного гальмівного моменту, що створюється фрикційними накладками модельного стрічково-колодкового гальма для пар „сталь 35 ХМЛ – ретинак ФК-16Л” від контактної різниці потенціалів та кількості циклів гальмувань m з пристроєм зниження трибострумів:
1, 2 – при питомих навантаженнях $0,5$ МПа та середній контактній різниці потенціалів, відповідно, 5 та 20 мВ;
1', 2' – при питомих навантаженнях $0,4$ МПа та середній контактній різниці потенціалів, відповідно, 4 та 18 мВ

На рис. 5 проілюстровані закономірності зміни величин гальмівних моментів, що створюються окремими фрикційними накладками *n* модельного стрічково-колодкового гальма з десятьма встановленими накладками по довжині гальмівної стрічки для пар „сталь 35 ХМЛ – ретинакс ФК-16Л” від контактної різниці потенціалів. На рис. 6 проілюстровані закономірності зміни сумарного гальмівного моменту, що створюється фрикційними накладками модельного стрічково - колодкового гальма від середньої контактної різниці потенціалів, кількості циклів гальмувань та питомих навантажень.

Встановлено, що в діапазоні допустимих температур величини гальмівних моментів при придушенні трибострумів, в середньому, на 5 - 10 % більше, ніж у серійних гальмівних пристроїв. Гальмівний момент, що створюється кожною окремою полімерною фрикційною накладкою під час їхньої контактної імпульсної взаємодії з робочою поверхнею металевого гальмівного шківів, має змінний характер через імпульсні зміни його складових (динамічного коефіцієнта тертя, нормальних сил та сил тертя).

Висновки та перспективи розвитку напрямку

У результаті проведених досліджень фрикційних властивостей металополімерних пар тертя гальмівних пристроїв в лабораторних і експлуатаційних умовах під час трибоелектричної взаємодії встановлені закономірності зміни: величин контактної різниці потенціалів пар тертя «метал – полімери» барабанно-колодкового гальма від поверхневої температури накладок та питомих навантажень; циркулюючих теплових та трибострумів та динамічного коефіцієнта тертя; гальмівних моментів від генерованих трибострумів в контактні двошарових структур «метал-полімер». Одержані результати дозволяють оптимізувати керування знософрикційними властивостями та тепловим станом гальмівних вузлів. Подальші дослідження можуть бути пов'язані з вивченням впливу трибоелектричних явищ на зношування фрикційних поверхонь гальмівних пристроїв.

Література

1. Hang, Y., Yur, J., Chou, H. (2006), Trib-electrification Mechanisms for Self Matedcarbon Steels in Dry Severe Wear Process. *Wear*, Vol. 260, Iss. 11–12, 1209–1216.
2. Janahmadov, A. K., Volchenko, A. I., Javadov, M. Y., Volchenko, D. A., Volchenko, N. A., Janahmadov, E. A. (2014), The Characteristic Analysis of Changes in the Processes, Phenomena and Effects within Working Layers of Metal Polymer Pairs During Electro-Thermo-Mechanical Friction. *Science & Applied Engineering Quarterly*, Vol. 2, pp. 6–17.
3. Электромеханический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть вторая) / А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, М. Я. Джавадов [и др.] // Проблемы трения и износа: научн.-техн. сб. – К.: НАУ, 2014. Вып. 3 (64). – С. 4-17.
4. Мамедов Р. К. Контакты металл-полупроводник с электрическим полем пятен / Р. К. Мамедов. – Баку: Госуниверситет, 2013. – 231 с.
- 5.5. Kryshchopra, S., Kryshchopra, L., Bogatchuk, I., Prunko, I., Melnyk, V. (2017), Examining the effect of triboelectric phenomena on wear-friction properties of metal-polymeric frictional couples. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, Iss. 5 (85), pp. 40–45.
6. Износ фрикционных накладок при контактно-импульсном взаимодействии металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза / М. В. Киндрачук, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко [и др.] // Проблемы трения и износа: научн.-техн. сб. – К.: НАУ, 2013. Вып. 2 (61). – С. 4-19.
7. Canəhmədov Ə. X., Əliyev Ə. M., Volçenko A. İ., Cavadov M. Y. Konduktiv soytutmalı lentli-kündəli əyləcin konstruksiyasının işlənməsi // Ученые записки НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия". – Баку, 2013. – С. 113-119.
8. Pashayev, A. M., Janahmadov, A. K., Dyshin, O. A., Javadov M. Y. (2013), The Multi-Fractal Analysis of Fatigue Fracture under Friction Process. *Journal Science and applied engineering*, Vol. 1, pp. 112–116.

Поступила в редакцію 10.04.2017

S.I. Kryshchtopa. Influence of triboelectric processes on friction characteristics of braking devices of technological transport.

As a result of the carried out investigations of the friction properties of metal-polymer friction pairs of brake devices under laboratory and operating conditions the laws of change are established for triboelectric interaction: the values of the contact difference of the potentials of friction pairs "grey cast iron - polymers" of drum-block and band-block brakes from surface temperature of linings and specific loads; the dynamic coefficient of friction from the values of circulating thermal and tribological currents; the values of the braking moments produced by individual friction units and the total brake moments from the change in the generated tribological currents in the contact of the two-layer "metal-polymer" structures. Experimental studies of triboelectric processes were carried out on a specially created laboratory stand that modelled band-block brake of technological transport and on the serial universal brake stand of the KI-8964 GOSNITI model which makes it possible to investigate metal-polymer pairs of friction of drum-block and disc brakes. Measurement of tribological current was carried out with the help of the n-ampere meter F-195, and the potential difference - with the help of the analog-to-digital converter USB Oscilloscope II. The number of experiments performed was sufficient to obtain results with a confidence probability of 0,95.

Key words: metal-polymer friction pairs, drum-block brake, band-block brake, tribosystem triboelectric processes.

References

1. Hang, Y., Yur, J., Chou, H. (2006), Trib-electrification Mechanisms for Self Matedcarbon Steels in Dry Severe Wear Process. *Wear*, Vol. 260, Iss. 11–12, 1209–1216.
2. Janahmadov, A. K., Volchenko, A. I., Javadov, M. Y., Volchenko, D. A., Volchenko, N. A., Janahmadov, E. A. (2014), The Characteristic Analysis of Changes in the Processes, Phenomena and Effects within Working Layers of Metal Polymer Pairs During Electro-Thermo-Mechanical Friction. *Science & Applied Engineering Quarterly*, Vol. 2, rr. 6–17.
3. Jelektromehaničeskij iznos i razrushenie obodov tormoznyh shkivov burovyh lebedok (chast' vtoraja) / A. I. Vol'chenko, N. A. Vol'chenko, M. Ja. Dzhavadov [i dr.]. *Problemy trenija i iznosa: nauchn.-tehn. sb. K.: NAU, 2014. Vyp. 3 (64). S. 4-17.*
4. Mamedov R. K. Kontakty metall-poluprovodnik s jelektricheskim polem pjaten. R. K. Mamedov. Baku: Gosuniversitet, 2013. 231 s.
- 5.5. Kryshchtopa, S., Kryshchtopa, L., Bogatchuk, I., Prunko, I., Melnyk, V. (2017), Examining the effect of triboelectric phenomena on wear-friction properties of metal-polymeric frictional couples. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, Iss. 5 (85), rr. 40–45.
6. Iznos frikcionnyh nakladok pri kontaktno-impul'snom vzaimodejstvii metalopolimer-nyh par trenija lentochno-kolodochnogo tormoza / M. V. Kindrachuk, N. A. Vol'chenko, D. A. Vol'chenko [i dr.]. *Problemy trenija i iznosa: nauchn.-tehn. sb. K.: NAU, 2013. Vyp. 2 (61). S. 4-19.*
7. Canəhmədov Ə. X., Əliyev Ə. M., Volçenko A. İ., Cavadov M. Y. *Konduktiv soyutmalı lentli-kündəli əyləcin konstruksiyasının işlənməsi. Uchenye zapiski NII "Geotehnologicheskie problemy nefti, gaza i himija". Baku, 2013. S. 113-119.*
8. Pashayev, A. M., Janahmadov, A. K., Dyshin, O. A., Javadov M. Y. (2013), The Multi-Fractal Analysis of Fatigue Fracture under Friction Process. *Journal Science and applied engineering*, Vol. 1, rr. 112–116.