

УДК 621.891

А. А. ИЩЕНКО¹, А. В. РАДИОНЕНКО¹, А. А. КОРНИЕНКО²

¹Приазовский государственный технический университет, Мариуполь

²Национальный авиационный университет, Киев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ В ПАРАХ ТРЕНИЯ

Исследован процесс микроприработки поверхностей трения с применением геомодификаторов. Для экспериментов применялись геомодификаторы ГМТ-У-1/3 и ГМТ-У-1/30 в масле. Определены коэффициенты трения для масла И-20А без геомодификаторов и с добавлением геомодификаторов. Проведены эксперименты с турбинным маслом и при нагреве. Выявлено оптимальное процентное содержание геомодификатора в масле.

Ключевые слова: геомодификаторы, коэффициент трения, граничное трение, пара трения «вал – лента», масло И-20А и Тп-22.

Введение. Одним из путей повышения износостойкости поверхностей трения является введение в состав смазочных материалов различных по действию присадок. Повышение смазочных свойств масел достигается в основном путем введения в них противоизносных, противозадирных и антифрикционных присадок.

Препараты на основе минералов естественного и искусственного происхождения получили наименование «геомодификаторы» (ГМТ) или ремонтно – восстановительные составы (РВС).

В работах, по изучению эффекта применения геомодификаторов отмечается что поверхностно – активные вещества (ПАВ) металлокерамического восстановителя, попадая на поверхности трения вместе с маслом инициируют процесс формирования на трущихся поверхностях металлокерамического покрытия с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения [1 – 3].

В присутствии этих составов за счет энергии трения в зонах контакта происходит удаление дефектного слоя металла, текстурирование поверхности трения с одновременным упрочнением материала подложки на значительную глубину. В ходе приработки изношенных поверхностей трения постепенно происходит создание на них оптимального микрорельефа (равновесной шероховатости), обусловленного реальными условиями эксплуатации.

Наиболее известны минеральные ремонтно-восстановительные присадки на базе порошков серпентинита. Это препараты торговых марок «РВС», «ХАДО», «СУПРА», «НИОД», «ФОРСАН», «Живой металл» и др.

На этой основе развилось отдельное направление – ремонтно-восстановительные составы (РВС).

Постановка задачи и методика проведения экспериментов. Целью данных исследований являлось изучение процесса приработки поверхностей трения с применением геомодификаторов. Окончание приработки характеризуется стабилизацией коэффициента трения, поэтому измерения могут быть выполнены за относительно короткий период времени.

Необходимо определить, какой процент содержания ГМТ в масле дает желаемые антифрикционные свойства. Для этого проведен эксперимент по определению влияния содержания ГМТ в масле на коэффициент трения.

Ранее проводившиеся научно-исследовательские работы выполнялись на парах трения, не лишенных погрешностей формы в виде овальности, огранки, отклонения от цилиндричности или погрешностей расположения, таких как отклонение от параллельности осей образца и контробразца. Все эти погрешности требуют проведения длительной макроприработки. Поэтому была применена схема трения «вал-лента», позволившая исключить макроприработку.

Исследования проводились на прецизионном трибометре и паре трения «вал-стальная лента» [4, 5]. Высокая точность измерения коэффициента трения обеспечивалась за счет применения высокочувствительного датчика колебаний каретки трибометра и использования передаточного рычага.

Подготовка образцов. В экспериментах применялись шлифованные и доведенные до $R_a = 0,08 \dots 0,1$ мкм образцы диаметром 30 мм из стали 45, твердостью HRC 30...32. Погрешности формы образцов не более 3 мкм. При работе по схеме «вал-лента» в качестве контробразца применялась стальная лента шириной 32 мм, толщиной 0,06 мм из стали У8 с шероховатостью $R_a 0,1$ мкм.

Усилие нагружения образца во всех опытах 0,47 кН, номинальное давление 0,61 МПа. Частота вращения образца 20 об/мин обеспечивала граничное трение.

Температура контролировалась в процессе трения с помощью хромель-копелевой термопары, рабочий спай которой напаивался на ленту контробразца. Таким образом, рабочий спай находился на расстоянии 0,06 мм от зоны трения. Металлическая лента за счет своей малой толщины достаточно гибкая, что позволяет ей самоустанавливаться на образце, исключая погрешности расположения и погрешности формы, и таким образом, уравнивая номинальную и контурную площади контакта. Трибометр снабжен воздушным демфером для уменьшения автоколебаний и индуктивным датчиком момента трения. Привод трибометра имеет возможность бесступенчатого регулирования частоты вращения образца. Измерение момента трения, скорости скольжения, температуры производилось по методике описанной в работе [5]. При исследовании контролировался момент трения и подсчитывался коэффициент трения по формуле, полученной на основании уравнения Эйлера.

Подготовка геомодификатора. Для экспериментов применялись геомодификаторы ГМТ-У-1/3 и ГМТ-У-1/30, с плотностью $0,76 \text{ г/см}^3$ и $0,82 \text{ г/см}^3$, соответственно. Порошок геомодификатора и масло смешиваются в процентном содержании по весу. Порошок в масле не растворяется, поэтому перед нанесением смазочного состава на образец смесь тщательно размешивалась.

Результаты исследования. *Исследование коэффициента трения в зависимости от процентного содержания ГМТ в индустриальном масле И-20А.*

Исследования проводились с материалами ГМТ-У-1/3 и ГМТ-У-1/30 и для сравнения с маслом И-20А без добавления геомодификатора. Эксперимент проводился до момента стабилизации коэффициента трения.

Для проведения эксперимента были подготовлены составы с 5%, 10%, 15%, 20% содержания ГМТ-У-1/3 и ГМТ-У-1/30 в масле И-20А. Смазочный состав одноразово наносился на образец, в нём четко различались частицы ГМТ. При разборке узла трения после работы наблюдалось изменение смазочного состава – отсутствовали частицы геомодификатора, а цвет состава приобретал черный оттенок. Результаты эксперимента представлены на рис. 1 – 3.

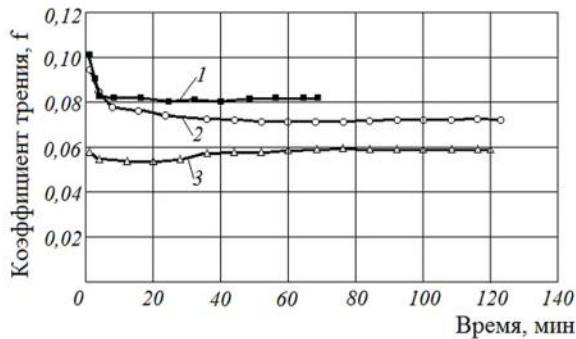


Рис. 1. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки: 1 – масло И-20А без геомодификатора; 2 – масло И-20А и 5% ГМТ-У-1/3; 3 – масло И-20А и 5% ГМТ-У-1/30

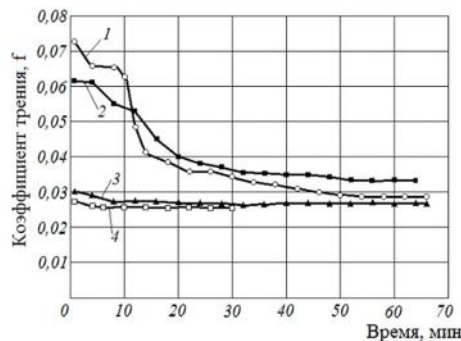


Рис. 2. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки: 1 – масло И-20А и 10% ГМТ-У-1/3; 2 – масло И-20А и 15% ГМТ-У-1/3; 3 – масло И-20А и 10% ГМТ-У-1/30; 4 – масло И-20А и 15% ГМТ-У-1/30

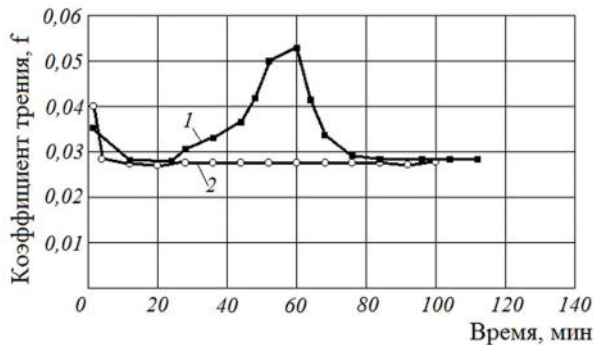


Рис. 3. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки: 1 – масло И-20А и 20% ГМТ-У-1/30; 2 – масло И-20А и 20% ГМТ-У-1/3

Коэффициенты трения после стабилизации для ГМТ-У-1/3 $f = 0,075$, для ГМТ-У-1/30 $f = 0,058$ (рис. 1). В сравнении с коэффициентом трения для масла И-20А без геомодификатора, полученные значения ниже.

Коэффициенты трения после микроприработки для ГМТ-У-1/3 $f = 0,028$, для ГМТ-У-1/30 $f = 0,026$ (рис. 2). Коэффициент трения с 15% содержанием ГМТ по сравнению с 10% составом ниже, но незначительно.

В обоих случаях был получен коэффициент трения $f = 0,027$ (рис. 3). При исследовании ГМТ-У-1/30 наблюдалось повышение коэффициента трения до значения 0,053 и постепенное снижение его до $f = 0,027$. Это явление можно

объяснить характером поведение материала ГМТ во время приработки. Происходит дробление микрочастиц геомодификатора, что может приводить к повышению коэффициента трения. В данном случае, вероятно, частицы ГМТ оказались более крупных размеров или попались инородные включения.

Исследование коэффициента трения в зависимости от процентного содержания ГМТ в турбинном масле. Для исследования влияния марки масла, в которое вводится геомодификатор, проведены эксперименты с ГМТ-У-1/3 и турбинным маслом. Вначале образец испытывался со смазкой турбинным маслом Тп-22 без добавки геомодификатора. Коэффициент трения равен $f=0.083$ (рис. 4). Полученный коэффициент трения совпадает с коэффициентом трения при смазке маслом И-20А без геомодификатора.

Испытания с 5% содержанием ГМТ в турбинном масле показали более высокий коэффициент трения равный 0,079 (рис. 4).

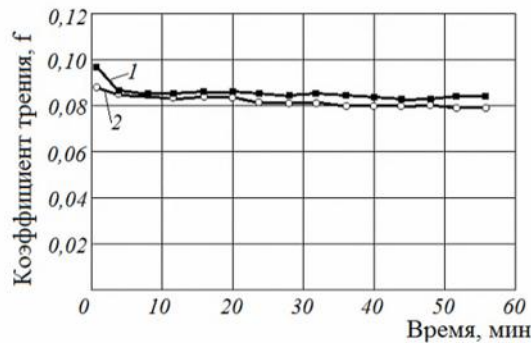


Рис.4. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки:

1 – турбинное масло Тп-22 без геомодификатора; 2 – масло Тп-22 и 5% ГМТ-У-1/3

Изменение коэффициента трения при добавлении 10%, 15% и 20% содержания ГМТ в турбинном масле представлены на рис. 5.

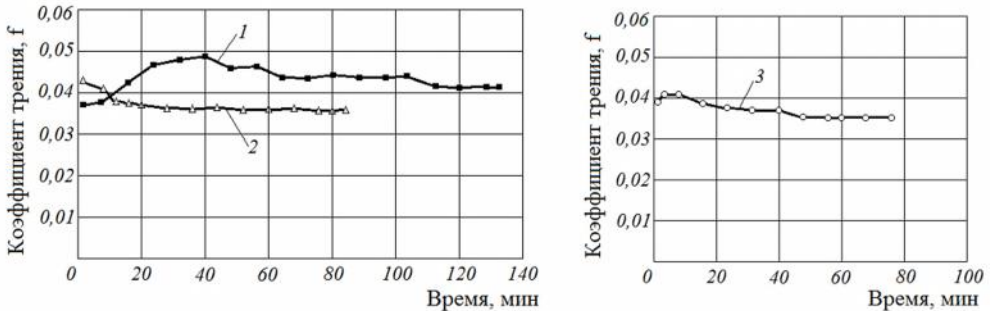


Рис. 5. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки: 1 – турбинное масло Тп-22 и 10% ГМТ-У-1/3; 2 – турбинное масло Тп-22 и 15% ГМТ-У-1/3;

3 – турбинное масло Тп-22 и 20% ГМТ-У-1/3

Коэффициенты трения после микроприработки соответственно равны 0,041; 0,036; 0,035 (см. рис. 4).

Составы с 15% и 20% ГМТ-У-1/3 показали значения коэффициентов трения незначительно ниже, чем с 10% ГМТ. Однако из-за дороговизны геомодификаторов наиболее подходящим для применения с экономической точки зрения является 10% состав содержания ГМТ в турбинном масле.

Исследование коэффициента трения в процессе микроприработки при нагреве зоны контакта. Для более полного исследования свойств геомодифика-

тора проведен эксперимент с подогревом зоны контакта трущихся поверхностей. Исследовался состав с 10% содержанием ГМТ-У-1/3 в масле И-20А. Нагрев производился феном с контролем температуры термопарой. Полученные данные приведены на рис. 6.

Нагрев пары трения в процессе работы производился до температуры в зоне контакта 65°C , после этого нагрев прекращали. При данном эксперименте наблюдалось повышение коэффициента трения, а после окончания нагрева его постепенный спад до установившегося значения. Полученный коэффициент трения равен 0,042.

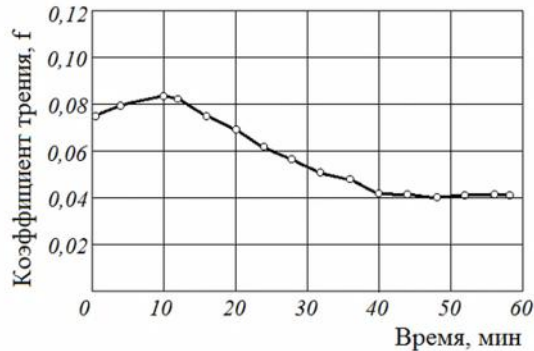


Рис.6. Изменение коэффициента трения в процессе микроприработки при нагреве. Смазка – масло И-20А и 10% ГМТ-У-1/3

Результаты исследования коэффициента трения в зависимости от применяемого масла и содержания геомодификатора. В таблице 1 и на рис. 7 приведены значения коэффициентов трения в зависимости от процентного содержания геомодификатора в маслах И-20А и в Тп-22. Данные масла обладают одинаковой кинематической вязкостью.

Таблица

Зависимость коэффициента трения от содержания геомодификатора

Процентное содержание геомодификатора, %	Коэффициент трения		
	ГМТ-У-1/3 в масле И-20А	ГМТ-У-1/30 в масле И-20А	ГМТ-У-1/3 в масле Тп-22
0	0,081	0,081	0,083
5	0,075	0,058	0,079
10	0,032	0,025	0,041
15	0,028	0,026	0,035
20	0,027	0,027	0,036

При одинаковом процентном содержании ГМТ в масле и одинаковом геомодификаторе получены данные одного порядка. Например, при 5% содержания геомодификатора ГМТ-У-1/3 коэффициент трения находится в пределах 0,079 – 0,058.

Выводы. Применение масла И-20А и 5% ГМТ показало понижение коэффициента трения по сравнению с чистым маслом для ГМТ-У-1/3 на 8% и для ГМТ-У-1/30 на 28%. Для масла Тп-22 снижение на 4,8%.

При добавлении 10% ГМТ в масло И-20А снижение коэффициента трения на 60,5% для ГМТ-У-1/3 и на 69% для ГМТ-У-1/30. Для масла Тп-22 снижение на 50,6%.

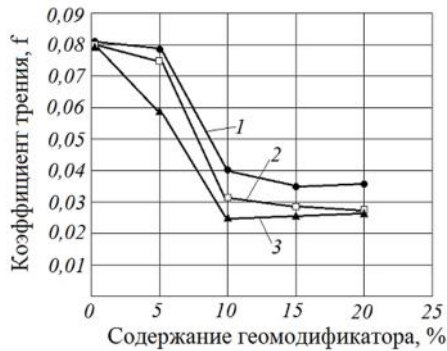


Рис. 7. График зависимости коэффициента трения от процентного содержания геомодификатора: 1 – ГМТ-У-1/3 в масле Тп-22; 2 – ГМТ-У-1/3 в масле И-20А; 3 – ГМТ-У-1/30 в масле И-20А

Добавка геомодификатора в количестве 20% дала снижение коэффициента трения на 66,7% в И-20А и на 56,6% в Тп-22.

Можно сделать вывод, что оптимальным содержанием геомодификатора в масле является 10% состав, который дает понижение коэффициента трения на 50-70%. Применение состава с большим содержанием геомодификатора не рекомендуется из-за дороговизны материала, хотя это и дает немного большее снижение коэффициента трения.

Применение масла Тп-22 с такой же вязкостью, как для И-20А почти не повлияло на коэффициент трения. Можно предположить, что марка масла не влияет на действие геомодификатора при граничном трении.

В дальнейшем необходимо провести следующие исследования:

- исследование коэффициента трения с применением ГМТ в зависимости от режимов трения;
- исследование коэффициента трения с применением ГМТ для пар трения, изготовленных из других материалов;
- исследование физико-химических процессов, происходящих при работе геомодификатора.

Список литературы

1. Погодаев Л.И. Влияние геомодификаторов трения на работоспособность трибосопряжений // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – № 1. – 2005. – С.58-67.
2. Усачев В.В. Погодаев Л.И., Телух Д.М., Кузьмин В.Н. Введение в проблему использования природных слоистых геомодификаторов в трибосопряжениях // Трение и смазка в машинах и механизмах. – № 1. – 2010. – С.36-42.
3. Телух Д. М. Использование слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д. М. Телух, В. Н. Кузьмин, В. В. Усачев // Интернет- журнал «Трение, износ, смазка». – 2009. – № 3. <http://auto-ally.ru/geografiya/21626/index.html>
4. Радионенко А. В. Трибометр для исследования влияния качества поверхностей на состояние смазочной пленки // Машиноведение – 1987 – № 6 – С. 93 – 97.
5. Tribotechnical research into friction surfaces based on polymeric composite materials [Electronic resource] / A. Ishchenko, A. Radionenko, E. Ischenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies = Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – Vol. 6, N 12 (90). – P. 12–19.

А. О. ИЩЕНКО, О. В. РАДИОНЕНКО, А. О. КОРНИЕНКО

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОМОДИФІКАТОРІВ В ПАРАХ ТЕРТЯ

В роботі наведено результати досліджень з вивчення процесів мікроприпрацювання поверхонь тертя з застосуванням геомодифікаторів (ГМТ). Проведені дослідження вмісту ГМТ в маслі у відсотках, який забезпечує отримання заданих антифрикційних властивостей. Дослідження проводилися на прецизійному трибометрі і парі тертя «вал - стрічка». В експериментах застосовувалися шліфовані і доведені до $Ra = 0,08 \dots 0,1$ мкм зразки діаметром 30 мм зі сталі 45, твердістю HRC 30 ... 32. У якості контрзразка застосовувалася сталеве стрічка шириною 32 мм, товщиною 0,06 мм зі сталі У8 з шорсткістю $Ra 0,1$ мкм. Температура в процесі тертя контролювалася за допомогою хромель-копелевої термопари. Робочий спай термопари був напаяний на стрічку контрзразка. Режим тертя відповідав граничному, що було описано в попередніх дослідженнях. Для експериментів застосовувалися склади з 5%, 10%, 15%, 20% вмістом ГМТ-У-1/3 і ГМТ-У-1/30 в маслі. Визначено коефіцієнти тертя після мікроприпрацювання для мастила І-20А без геомодифікаторів та з додаванням геомодифікаторів. Для виявлення впливу марки масла з геомодифікаторами були проведені експерименти з ГМТ-У-1/3 і турбінним маслом. Були виконані дослідження коефіцієнта тертя з 10% вмістом ГМТ-У-1/3 в маслі І-20 при нагріванні. Наведено залежності коефіцієнта тертя від процентного вмісту геомодифікаторів в маслах: І-20А і Тп-22. В результаті проведення дослідження антифрикційних властивостей геомодифікаторів було виявлено їх оптимальний процентний вміст в маслі. Таким чином, були отримані дані, що дозволяють обґрунтувати вибір необхідного процентного вмісту геомодифікаторів в маслі І-20 при використанні його в парах тертя в умовах граничного тертя.

Ключові слова: геомодифікатори, коефіцієнт тертя, граничне тертя, пара тертя «вал – стрічка», масло І-20А і Тп-22.

Ищенко Анатолий Алексеевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии», ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская 7, г. Мариуполь, Украина, 87555, тел.: (067) 943 45 72, E-mail: ischenko50@ukr.net

Радионенко Александр Васильевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская 7, г. Мариуполь, Украина, 87555, тел.: +38 0629 44 65 89, E-mail: radav50mar@gmail.com

Корниенко Анатолий Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры машиноведения, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Коморова, 1, г. Киев, Украина, 03058.

A. O. ISHCENKO, O. V. RADIONENKO, A. O. KORNIENKO

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF GEOMODIFIERS IN FRICTION PAIRS

The paper presents the results of research on friction surfaces microprocessing using geomodifiers (GMF). Studies have been done on the content of GMF in oil in percent, which provides the required anti-friction properties. The research was carried out on a precision tribometer and a of friction pair "shaft - tape". In experiments, grinded and roughened to $Ra = 0,08 \dots 0,1$ microns the specimens made of steel 45 (hardness HRC 30 ... 32) with a diameter of 30 mm were applied. As a counter-sample, a steel tape made of steel U8 with a roughness Ra of 0.1 microns was used with a width of 32 mm, a thickness of 0,06 mm. The temperature in the friction process was controlled with the help of a chromel-collier thermocouple. The working junction of the thermocouple was applied to the counter-sample tape. The friction mode corresponded to the boundary friction, which was described in previous studies. The experiments with compositions of 5%, 10%, 15%, 20% content of GMF-U-1/3 and GMF-U-1/30 in oil were carried out. The coefficients of friction after microprocessing for I-20A grease without geomodifiers and with the addition of geomodifiers are determined. Experiments with geomodifiers GMF-U-1/3 and turbine oil were carried out to detect the influence of oil grades. Friction coefficient studies during heating were carried out with with compositions of 10% content of GMF-U-1/3 in oil I-20. The dependences of the coefficient of friction on the percentage of geomodifiers in oils I-20A and Tp-22 are given. As a result of the antifriction properties of geomodifiers studies, their optimal percentage content in oil was detected. Thus, data was obtained to justify the choice of the required percentage content of geomodifiers in the I-20 oil when used in friction pairs under extreme friction conditions.

Key words: geomodifiers, friction coefficient, boundary friction, friction pair "shaft - tape", oil I-20A and Tp-22.

References

1. Pogodaev L.I. Vlijanie geomodifikatorov trenija na rabotosposobnost' tribosoprjazhenij // Problemy mashinostroenija i nadjozhnosti mashin. – № 1. – 2005. – S.58-67.
2. Usachev V.V. Pogodaev L.I., Teluh D.M., Kuz'min V.N. Vvedenie v problemu ispol'zovanija prirodnyh sloistyh geomodifikatorov v tribosoprjazhenijah // Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah. – № 1. – 2010. – S.36-42.
3. Teluh D. M. Ispol'zovanija sloistyh gidrosilikatov v tribosoprjazhenijah / D. M. Teluh, V. N. Kuz'min, V. V. Usachev // Internet- zhurnal «Trenie, iznos, smazka». – 2009. – № 3. <http://auto-ally.ru/geografiya/21626/index.html>
4. Radionenko A. V. Tribometr dlja issledovanija vlijanija kachestva poverhnostej na sostojanie smazочноj plenki // Mashinovedenie – 1987 – № 6 – S. 93 – 97.
5. Tribotechnical research into friction surfaces based on polymeric composite materials [Electronic resource] / A. Ishchenko, A. Radionenko, E. Ischenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies = Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – Vol. 6, N 12 (90). – P. 12–19.