

УДК 621.2.082.18

В.В. Медведева, аспирант, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург) (e-mail: vikamv@mail.ru)**А.Д. Бреки**, канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: albreki@yandex.ru)**Н.А. Крылов**, канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: cry_off@mail.ru)**М.А. Скотникова**, д-р техн. наук, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург) (e-mail: skotnikova@mail.ru)**Ю.А. Фадин**, д-р техн. наук, ИПМАШ РАН (Санкт-Петербург) (e-mail: fadinspb@yandex.ru)**С.Е. Александров**, д-р хим. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: sevgalexandrov@gmail.com)**А.Е. Гвоздев**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н Толстого» (Тула)
(e-mail: technology@tspu.tula.ru)**Н.Е. Стариков**, д-р техн. наук, профессор, ТулГУ (Тула) (e-mail: starikov_taii@mail.ru)**Д.А. Провоторов**, канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор, НПП «Вулкан-ТМ» (Тула)
(e-mail: prodmyt@rambler.ru)**А.Н. Сергеев**, д-р пед. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ТГПУ им. Л.Н Толстого» (Тула)
(e-mail: ansergueev@mail.ru)**Е.В. Агеев**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТИЧНОГО СМАЗОЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО ДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ СЛОИСТОГО МОДИФИКАТОРА ТРЕНИЯ**

В статье приведены результаты исследования влияния концентрации и размера частиц слоистого природного модификатора трения серпентинита, полученных по многоступенчатой технологии помола, магнитной сепарации и флотации, на противоизносные свойства пластичного смазочного материала. В границах исследования выявлено возникновение локальных плёнок в результате взаимодействия активных компонентов серпентинита с поверхностью трения в местах образования ювенильных областей.

Ключевые слова: пластичная смазка, серпентинит, дисперсные частицы, антифрикционные добавки, трение, износ, смазка.

Известно, что в сравнении с жидкими маслами пластичные смазочные материалы имеют целый ряд преимуществ, а именно [1]: способность удерживаться в негерметичных узлах трения, работать в ряде случаев в более широких температурных и скоростных интервалах, а также в контакте с водой и различными агрессивными средами. Пластичные смазочные материалы отличаются более высокой экономической эффективностью использования в сравнении с другими смазочными материалами.

Известно использование пластичных смазочных материалов с различными наполнителями для трибосопряжений, работающих в тяжело нагруженных машинах и механизмах при повышенных давлениях и температурах. Наполнители,

или твёрдые добавки [1], – это обычно тонкодисперсные, нерастворимые в маслах и не образующие коллоидной структуры вещества, представляющие в пластичных смазках самостоятельную дисперсную фазу, улучшающую их работоспособность. Изучению влияния твёрдых добавок на улучшение функционирования узлов трения посвящён ряд исследований, давших положительные результаты [2- 9, 11-14 и др.]. Многие вопросы, связанные с использованием твёрдых дисперсных добавок, остались ещё недостаточно освещены. В частности, возникает необходимость оценки влияния размера и концентрации частиц минерала серпентинита на противоизносные свойства пластичных смазочных композиций.

В качестве объектов исследования были выбраны смазочные композиции на основе пластичного смазочного материала «литол-24 Газпром», с наполнителем из частиц серпентинита размерами 1, 10 и 30 мкм. Ряд концентраций частиц в пластичных смазочных композиционных материалах составлял 0,05%, 0,5%, 1%, 5%, 10%.

Смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87) - нефтяное масло вязкостью $60-75 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 50°C , загущенное литиевым мылом 12-гидроксистеариновой кислоты. Он содержит антиокислительную и вязкостную присадки. Микрофотография используемого базового пластичного смазочного материала показана на рисунке 1.

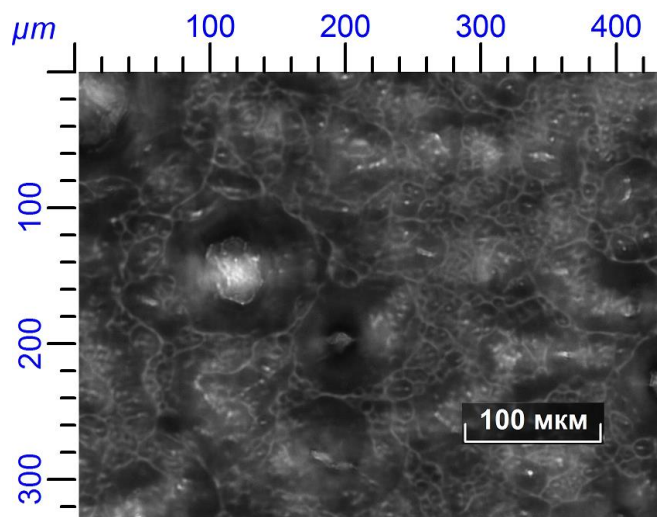


Рис.1. Микрофотография слоя, исследуемого литола-24(х100)

Из микрофотографии виден пространственный структурный каркас, образованный присадками и жидким смазочным маслом. В среднем ячейки каркаса выбранного смазочного материала имеют размеры около 10-30 мкм.

Основные эксплуатационные характеристики смазки Литол-24: высокая коллоидная, химическая и механическая стабильность, водостойкость даже в кипящей воде, при нагревании не упрочняется. Он имеет работоспособность при температуре $-40...+120^\circ\text{C}$, кратковременно сохраняет работоспособность при температуре 130°C .

Областями применения смазки литол-24 являются подшипники качения и скольжения всех типов, шарниры, зубчатые и другие передачи, поверхности трения колесных и гусеничных транспортных средств, промышленных механизмов, электрических машин и т.п.

Предметом данного исследования являются триботехнические свойства

композиционных материалов на основе пластичной смазки «литол-24 Газпром», с наполнителем из частиц серпентинита различных фракций.

Целью исследования является оценка влияния размера и концентрации частиц минерала серпентинита на противоизносные свойства пластичного смазочного композиционного материала.

Оценку противоизносных свойств смазочных слоёв, содержащих дисперсные наполнители, осуществляли на четырёхшариковой машине трения ЧШМ-3,2 в соответствии с ГОСТ 9490-75 при трении скольжения.

Данная установка используется на начальном этапе трибологических испытаний для оценки способности смазочных материалов уменьшать износ пар трения и предотвращать их заедание. В этой лабораторной установке стандартный шарикоподшипниковый шарик из стали ШХ-15 диаметром $d_{ш} = 12,70 \text{ мм}$ зажат в

шпинделе машины, вращающемся с частотой вращения $n_{\text{шп}} = 1460 \text{ мин}^{-1}$. К этому шару под заданной нагрузкой $60 \text{ Н} \leq P \leq 10000 \text{ Н}$ прижимают три неподвижных шарика, сложенных треугольником в плоскости, перпендикулярной оси шпинделя, и помещают в чашку с исследуемым смазочным материалом. Вращающийся шарик вытирает на контактирующих с ним участках рабочих поверхностей неподвижных шаров лунки

(пятна износа), по средней величине которых судят о влиянии смазочного материала на износ шаров при данной нагрузке. Испытания проводились при следующих условиях: нагрузка составляла 20 кгс, время одного испытания составляло 1 час.

Результаты испытаний противоизносных свойств пластичного композиционного материала с частицами серпентинита размером 1 мкм показаны на рисунке 2.

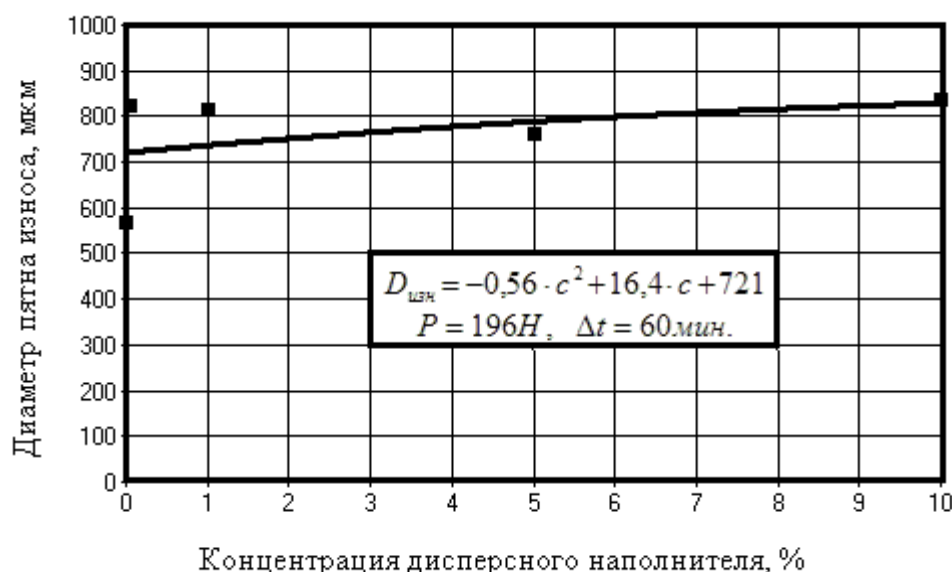


Рис. 2. График зависимости диаметра пятна износа от концентрации наполнителя с размером частиц 1 мкм

Из построенного графика (см. рис. 2) видно, что на всём диапазоне концентраций по массе наполнитель из частиц размером 1 мкм не оказывает благоприятного воздействия на противоизносные свойства смазочного слоя. Данный результат хорошо согласуется с исследованиями смазочных композиций с серпентинитом на основе литолов других производителей.

Результаты испытаний противоизносных свойств пластичного композиционного материала с частицами серпентинита размером 10 мкм показаны на рисунке 3.

Из полученной зависимости (см. рис.3) видно, что с увеличением концентрации серпентинита с размером частиц 10 мкм износ уменьшается и достигает минимального значения при концентрации $\approx 7\%$. При концентрации в 7% диаметр пятна износа снижается на $\approx 45\%$ относительно базового смазочного материала, далее происходит приращение износа.

Результаты испытаний противоизносных свойств пластичного композиционного материала с частицами серпентинита размером 30 мкм показаны на рисунке 4.

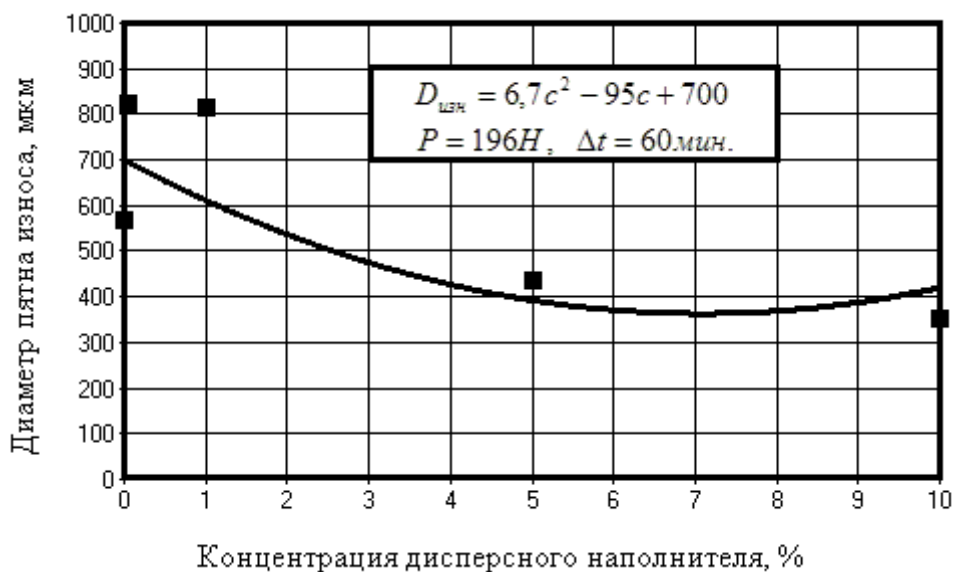


Рис. 3. График зависимости диаметра пятна износа от концентрации наполнителя с размером частиц 10 мкм

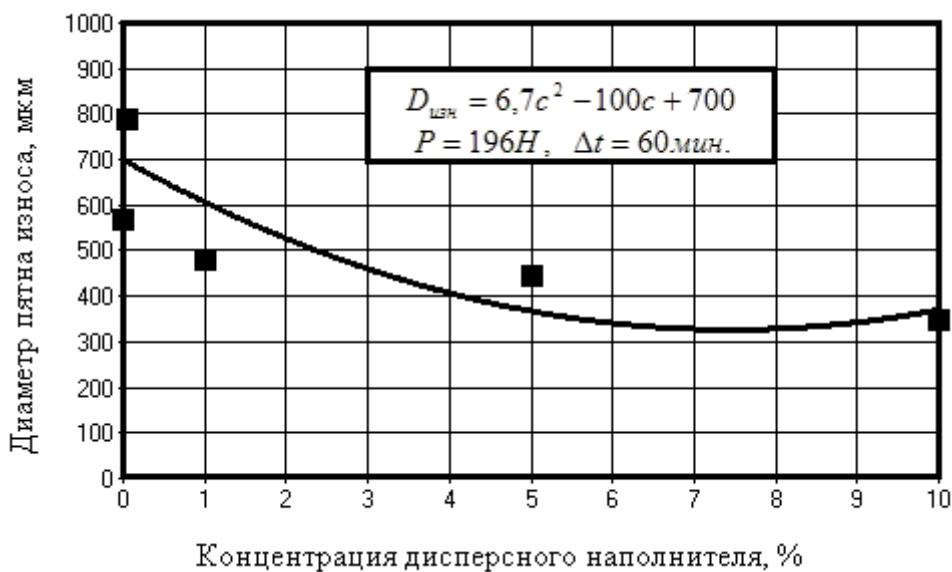


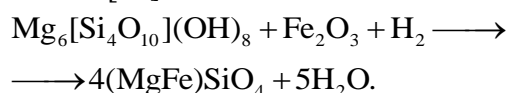
Рис.4. График зависимости диаметра пятна износа от концентрации наполнителя с размером частиц 30 мкм

Из полученной зависимости (см. рис.4) видно, что с увеличением концентрации серпентинита с размером частиц 30 мкм износ уменьшается и достигает минимального значения при концентрации $\approx 7,5\%$. При концентрации в $7,5\%$ диаметр пятна износа снижается на $\approx 50\%$ (в 2 раза) относительно базового смазоч-

ного материала, далее происходит приращение износа.

После проведения испытаний было выявлено образование вторичных структур (локальных плёнок) на поверхностях трения шариков, средние размеры которых составляли до 50 мкм (рис.5).

В работе [10] приведён возможный механизм образования защитной плёнки на поверхности трения, который состоит в том, что при механическом и тепловом воздействии серпентин (минерал, входящий в состав серпентинита) разлагается и, в процессе трения, выделяется количество теплоты, достаточное для разогрева и размягчения металла. Этот процесс приводит к возникновению следующей реакции [10]:



При этом происходит внедрение в структуру металла микрочастиц минерала

и образование композитной серпентино-металлической структуры (металл – минерал) на поверхности узлов трения.

В границах данного исследования было реализовано сравнение твёрдости поверхности трения в локальных участках с образовавшейся плёнкой и без её наличия (рис.6). Для измерения твёрдости использовали автоматический микротвердомер FM-300. Основные характеристики прибора приведены в таблице.

Микрофотографии отпечатков индентора в соответствующих областях поверхности трения приведены на рисунке 6.



Рис.5. Локальная плёнка после трения в среде смазки с серпентинитом (увеличение в 1000 раз)

Характеристики микротвердомера FM-300

Характеристика	Описание
Контроль процесса нагрузки	автоматический (нагрузка, выдержка, снятие нагрузки)
Скорость нагрузки	50 мкм/сек.
Индентор	по Виккерсу
Точность	согласно JIS B-7734 /B-7725, ASTM E-384, ISO /DIS 6507-2, ГОСТ 9450
XY-столик	перемещение XY 25мм
Нагрузки (гс.)	5/10/ 25/ 50/ 100/ 200/ 300/ 500/ 1000 (2000)
Объективы	10х/50х (опция: 5х, 20х, 40, 100х)
Окуляры	10х (опция: 15х)
Макс. глуб. образца	115 мм
Макс. высота образца	95 мм

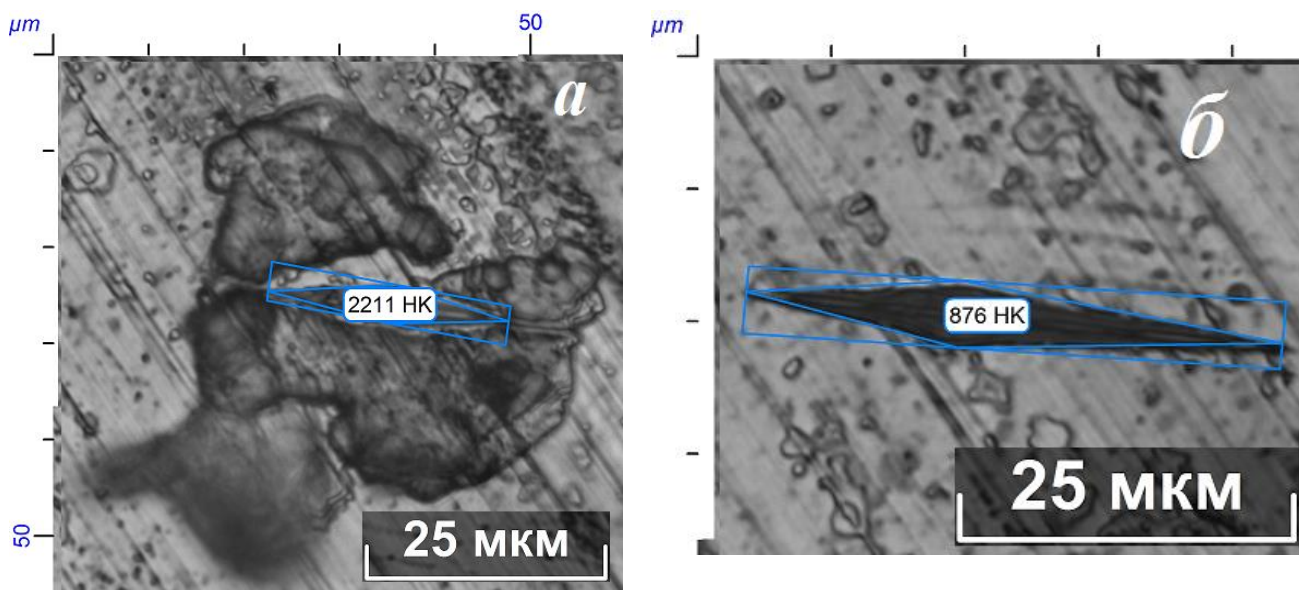


Рис.6. Микрофотографии отпечатков индентора: а – локальная область с плёнкой, б – область поверхности трения без плёнки (x1000)

В результате проведённых измерений установлено, что твёрдость по Кнупу в локальной области с плёнкой составляет 2211НК, а в области без плёнки твёрдость значительно меньше и составляет 876НК. Таким образом, на поверхности трения при фрикционном взаимодействии образуются и разрушаются вторичные структуры, которые реализуют дискретное экранирование поверхностей, дополнительно разделяя материалы наряду с окисными плёнками.

На основании полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Размер частиц геомодификатора трения оказывает существенное влияние на противоизносные свойства консистентных смазочных композиций: частицы размером 1мкм не оказывают положительного влияния на противоизносные свойства смазочной композиции на всём диапазоне концентраций; частицы размером 10 и 30 мкм начинают проявлять свои противоизносные свойства уже при малых концентрациях в смазочной композиции, достигая оптимума при концентрации $\approx 7\%$ по массе.

2. Проведенные исследования показали эффективность серпентинита круп-

ных фракций в составе пластичного смазочного материала. Введение в состав консистентной смазки $Mg_6\{Si_4O_{10}\}(OH)_8$ обеспечивает формирование между поверхностями трения сервовитной пленки, уменьшающей износ элементов трения. Это связано с тем, что неорганические материалы на основе природных минералов $Me_n[SiO_k](OH)_p$, где $Me=Fe, Mg, Al$, к которым относится серпентинит, при высоких давлениях и температурах могут кристаллизоваться в виде форстерита, волостанита и ряда других модификаций со значительной микротвердостью.

3. Экспериментально показано, что микротвёрдость образовавшихся локальных сервовитных плёнок в 2,5 раза превышает микротвёрдость областей поверхности трения без наличия данных плёнок, что может влиять на формирование механических свойств углеродистых сталей [15, 16].

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований по приоритетным тематическим направлениям исследований» научному

проекту: "Формирование беспористых покрытий из нанокпозиционных материалов типа «износостойкая матрица - наночастицы дисульфида молибдена (вольфрама)», обладающих низким коэффициентом трения, методом химического осаждения из газовой фазы", № 15-13-00045, и по научной теме №1840 в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания.

Список литературы

1. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н. Структурно-энергетические модели надёжности материалов и деталей машин. – СПб.: Академия транспорта Российской Федерации, 2006. – 608с.
2. Докшанин С.Г. Увеличение ресурса работы подшипников качения применением пластичных смазочных материалов с ультрадисперсным алмазографитом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Красноярский государственный технический университет. - Красноярск, 2002. - 20 с.
3. Маринушкин Д. А. Повышение долговечности гипоидных передач применением твёрдых добавок к смазочному материалу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Сибирский государственный технологический университет. - Красноярск, 2008. - 20 с.
4. Шаронов А. А. Улучшение эксплуатационных характеристик подшипников скольжения применением модифицированных смазочных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Красноярский государственный технический университет. - Красноярск, 2005. - 18 с.
5. Хуссеин Х. А. Твёрдые композиционные присадки на основе металлизированного графита для пластичных смазочных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Институт проблем машиноведения РАН. – СПб., 2009. - 18 с.
6. Бреки А.Д. Триботехнические свойства модифицированных смазочных масел: дис. ... канд. техн. наук / Институт проблем машиноведения Российской академии наук. – СПб., 2011. – 161с.
7. Бреки А.Д. Триботехнические свойства модифицированных смазочных масел: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Институт проблем машиноведения Российской академии наук. – СПб., 2011. – 19 с.
8. Журба И. А. Нестационарная математическая модель прогнозирования устойчивой работы подшипников скольжения с вязкоупругой смазочной композицией: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04, 05.13.18 / Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 2005. - 24 с.
9. Рабецкая О.И. Улучшение рабочих характеристик радиальных подшипников скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – Красноярск, 2008.- 21 с.
10. Шаров Г.И., Ерохин И.А., Осипенко Ю.В. Применение системы энергосбережения в поршневых ДВС // Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте: труды третьего международного симпозиума по транспортной триботехнике «ТРАНСТРИБО-2005». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. – С. 212 – 215.
11. Жидкие смазочные композиционные материалы, содержащие высокодисперсные наполнители, для подшипниковых узлов управляемых систем: монография / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 144с.
12. Триботехнические свойства жидких смазочных композиционных материалов, содержащих полученные методом газофазного синтеза высокодисперсные дисульфид и диселенид вольфрама: монография / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков; под. ред. А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 152с.

13. Триботехнические свойства композиционных покрытий с полиимидными матрицами и наполнителями из наночастиц диалкоксидов вольфрама для узлов трения машин: монография / А.Д. Бреки, В.В. Кудрявцев, А.Л. Диденко, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев; под ред. А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 128 с.

14. Триботехнические характеристики жидких смазочных и полиимидных композиционных материалов, содержащих антифрикционные наночастицы диалкоксидов вольфрама: монография / А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Е. Стариков, Н.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоз-

дев; под ред. А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 276 с.

15. Гвоздев А.Е., Журавлев Г.М., Колмаков А.Г. Формирование механических свойств углеродистых сталей в процессах вытяжки с утонением // Технология металлов. – 2015. – №11. – С. 17-31.

16. Оценка влияния жидкого смазочного материала с наночастицами геомодификатора на трение в подшипниковом узле / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов, Н.Н. Сергеев, Е.В. Агеев, А.Е. Гвоздев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – №. 3(16). – С. 17–24.

Получено: 14.12.15

V.V. Medvedeva, Post-Graduate Student, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: vikamv@mail.ru)

A. D. Breki, Candidate of Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: albreki@yandex.ru)

N.A. Krylov, Candidate of Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: cry_off@mail.ru)

M.A. Skotnikova, Doctor of Sciences, Professor, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: skotnikova@mail.ru)

Yu. A. Fadin, Doctor of Sciences, IPMASH RAS (St. Petersburg) (e-mail: fadinspb@yandex.ru)

S.E. Aleksandrov, Doctor of Sciences, Professor, St. Petersburg State Polytechnic University Peter the Great (St. Petersburg) (e-mail: sevgalexandrov@gmail.com)

A.E. Gvozdev, Doctor of Sciences, Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula) (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

N.E. Starikov, Doctor of Sciences, Professor, Tula State University (Tula) (e-mail: starikov_tai@mail.ru)

D.A. Provotorov, Candidate of Sciences, Leading Design Engineer, SME «Vulkan-TM» (Tula) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

A.N. Sergeev, Doctor of Sciences, Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula) (e-mail: ansergeev@mail.ru)

E.V. Ageev, Doctor of Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

INVESTIGATION OF ANTIWEAR PROPERTIES OF PLASTIC LUBRICATING COMPOSITE MATERIAL CONTAINING DISPERSED PARTICLES OF THE LAYERED FRICTION MODIFIER

In the article the results of research of influence of concentration and particle size of the layered nature of the modifier of friction of serpentinite obtained by a multistage technology of milling, magnetic separation and flotation, anti-wear properties of lubricating plastic material. Within the boundaries of the study revealed the occurrence of local films as a result of interaction of active components of the serpentinite to the surface friction in places of education juvenile areas.

Key words: grease, serpentinite, dispersed particles, antifriction additives, friction, wear, lubrication.