

УДК 621.2.082.18

А.Д. Бреки, канд. техн. наук, доцент, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: albreki@yandex.ru)

С.Е. Александров, д-р хим. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: sevgalexandrov@gmail.com)

О.В. Толочко, д-р техн. наук, профессор, СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)
(e-mail: albreki@yandex.ru)

А.А. Лисенков, д-р техн. наук, лауреат государственной премии РФ в области науки и техники, ИПМАШ РАН (Санкт-Петербург) (e-mail: lisran@yandex.ru)

Ю.А. Фадин, д-р техн. наук, ИПМАШ РАН (Санкт-Петербург) (e-mail: fadinspb@yandex.ru)

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)

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

А.Н. Сергеев, д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (e-mail: technology@tspu.tula.ru)

Д.А. Провоторов, канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор, ООО НПП «Вулкан-ТМ» (Тула) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

О.Ф. Киреенко, канд. физ.-мат. наук, ИПМАШ РАН (Санкт-Петербург)
(e-mail: olfkir@gmail.com)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ СПЛОШНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ ДИСУЛЬФИДА ВОЛЬФРАМА И ФУЛЛЕРЕНОПОДОБНЫЕ ЧАСТИЦЫ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ПРИ ТРЕНИИ СТАЛИ ШХ15 ПО ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 45

Представлены результаты сравнительного исследования изнашивания в режиме трения вращения стали марки ШХ15 по плоской поверхности из материала сталь, при использовании смазочных композиций на основе масла МС20, содержащего сплошные наночастицы дисульфида вольфрама и фуллереноподобные частицы дисульфида молибдена. В качестве вращающегося образца использовался шарик из подшипниковой стали марки ШХ-15, диаметром 12,7 мм. В качестве неподвижного контртела использовалась прямоугольная пластина из стали 45. К данной пластине с помощью зажимов прижималась цилиндрическая втулка, в которую заливались смазочные композиции. Исследования проводились на машине торцового трения. Для исследования были взяты две смазочные композиции на основе масла МС20 с добавлением одного процента наночастиц дисульфида вольфрама 40 нм и с добавлением одного процента фуллереноподобных высокодисперсных частиц дисульфида молибдена (полидисперсная смазочная композиция, частицы разных размеров от 2 мкм до наночастиц). На основании проведённых исследований установлено, что:

– введение в масло марки МС-20 1% полученных методом газофазного синтеза наночастиц дисульфида вольфрама позволило снизить начальную скорость изнашивания на $\approx 23,5\%$;

– введение в масло марки МС-20 1% полидисперсных фуллереноподобных частиц дисульфида молибдена позволило снизить начальную скорость изнашивания на $\approx 40\%$;

– максимальное снижение диаметра пятна износа при использовании наночастиц дисульфида вольфрама 40 нм относительно базового масла произошло на 6 мин. Добавление частиц способствовало снижению диаметра пятна износа на 17,5%. В конце опыта смазочная композиция оказалась эффективнее на 13% относительно МС-20;

– максимальное снижение диаметра пятна износа при использовании полидисперсных фуллереноподобных частиц дисульфида молибдена относительно базового масла произошло в конце опыта. Добавление частиц способствовало снижению диаметра пятна износа на 30% относительно масла МС-20.

Ключевые слова: трение, износ, наночастицы, твёрдый смазочный материал, смазочная композиция, смазочный слой, смазочное масло.

Смазочная эффективность масла [1] зависит от сочетания многочисленных

тесно переплетающихся факторов, определяющих в совокупности характер вли-

яния масла на износ и трение смазываемых поверхностей. Одни из этих факторов зависят от свойств масла, в том числе от их изменений в процессе эксплуатации, другие – от состояния и свойств трущихся поверхностей, в том числе от их изменений в процессе эксплуатации, третьи – от характера взаимодействий между компонентами масла, трущимися поверхностями и покрывающими их окисными плёнками, четвёртые – от скорости, нагрузки, температуры и других параметров режима трения. Твёрдые смазочные материалы, в отличие от масел, являются в известной степени более стабильными по отношению к действию перечисленных выше факторов.

Известно [2, 3], что твёрдые смазочные материалы используются для решения проблем смазывания в экстремальных условиях. В авиационной и ракетной технике смазочные материалы должны работать в широком диапазоне температур (от -240 до 900 °C). В узлах трения ядерных реакторов смазочные материалы должны иметь высокую радиационную стойкость, а в узлах трения космических объектов они должны иметь минимальную летучесть в вакууме. Твёрдые смазочные материалы применяют для смазывания узлов трения качения и скольжения (также верчения, сложного варианта скольжения) при жестких условиях функционирования трибосистем. Также они применяются для смазывания электропроводящих контактов и высокоточных механических приборов, которые требуют очень низких коэффициентов трения при пуске и для которых недопустимо использование смазочных масел и пластичных смазок.

В связи с перечисленными данными, твёрдые смазочные материалы целесообразно использовать в качестве добавок в

смазочные масла для увеличения эффективности последних в условиях действия такого широкого количества факторов.

Использование твердых высокодисперсных смазочных материалов в виде добавок в смазочные масла в узлах трения где реализуется жидкая смазка дало ряд положительных результатов, полученных авторами данной работы [4-16].

В настоящее время получили развитие нанотехнологии, посредством которых появилась возможность получения наноразмерных порошков твёрдых смазочных материалов, а также фуллереноподобных нано- и микрочастиц твердых смазочных материалов. Вместе с тем ещё недостаточно изучено влияние жидких смазочных композиций с данными добавками на изнашивание различных стальных поверхностей трения. Необходимо сравнение действия фуллереноподобных и сплошных частиц твердых смазочных материалов при трении в жидких смазочных средах.

В границах данной работы приведены результаты сравнительного исследования изнашивания в режиме трения верчения стали марки ШХ15 по плоской поверхности из материала СТАЛЬ45, при использовании смазочных композиций на основе масла МС20, содержащего сплошные наночастицы дисульфида вольфрама и фуллереноподобные частицы дисульфида молибдена.

Для исследования были взяты две смазочные композиции на основе масла МС20: 1) с добавлением одного процента наночастиц дисульфида вольфрама 40 нм (рис.1, б); 2) с добавлением одного процента фуллереноподобных высокодисперсных частиц дисульфида молибдена (полидисперсная смазочная композиция, частицы разных размеров от 2 мкм до наночастиц) (рис.1, а).

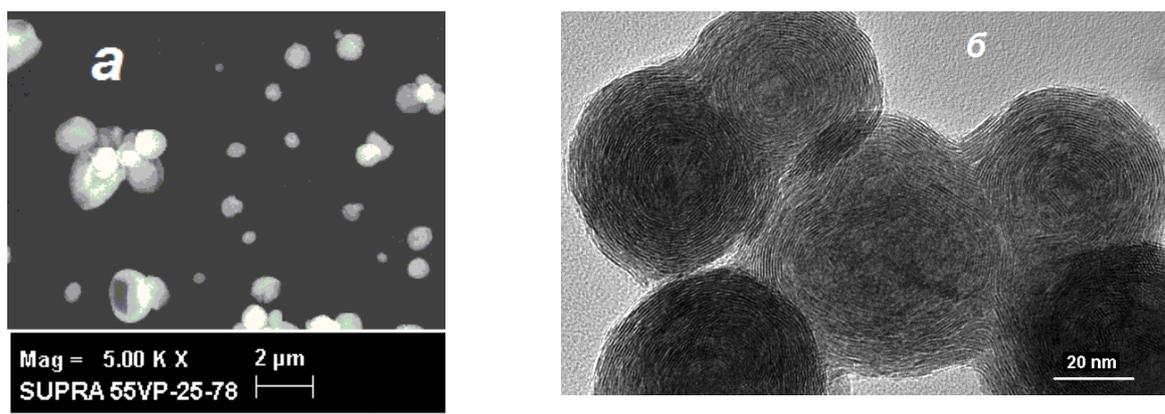


Рис. 1. Высокодисперсные наполнители для создания смазочных композиций:
а – фуллереноподобные частицы MoS₂; б – сплошные наночастицы WS₂

В качестве вращающегося образца использовался шарик из подшипниковой стали марки ШХ-15, диаметром 12,7 мм. В качестве неподвижного контртела использовалась прямоугольная пластина из СТАЛЬ 45. К данной пластине с помощью зажимов прижималась цилиндрическая втулка, в которую заливались смазочные композиции. Исследования проводились на машине торцового трения по схеме, приведённой на рис.2.

В начале исследовали чистое смазочное масло МС-20 без добавок. Графики зависимости диаметра лунки износа на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания от времени приведены на рис.3.

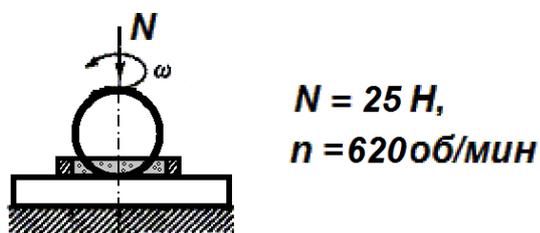


Рис.2. Схема торцового трения вращения по схеме «плоскость-плоскость»

Испытания проводились в продолжении 10 мин (время определено при отработке методики: контактное давление стремится к минимальному, приращение износа при

выбранных условиях становится пренебрежимо мало ($p \rightarrow p_{\min}$, $\Delta d_{\text{изн}} \rightarrow 0$), что характерно для данной схемы трения).

Из рисунка 3 видно, что зависимость диаметра лунки износа от времени имеет вид степенной функции. Начальная скорость изнашивания при использовании масла МС-20 составила 0,255мм/мин. Далее скорость изнашивания линейно убывает в связи с уменьшением контактного давления при увеличении номинальной площади контакта и постоянстве нагрузки. Максимальное значение диаметра лунки износа в данном опыте в среднем составило $\approx 1,15$ мм.

Далее исследовали смазочное масло МС-20 с добавлением 1% WS₂. Графики зависимости диаметра лунки износа на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания от времени приведены на рис.4.

В данном случае зависимость диаметра лунки износа от времени также имеет вид степенной функции, что определено схемой испытаний (конструкционный фактор: конструкция узла (пары) трения).

Начальная скорость изнашивания при использовании масла МС-20+1% WS₂ составила 0,195мм/мин.

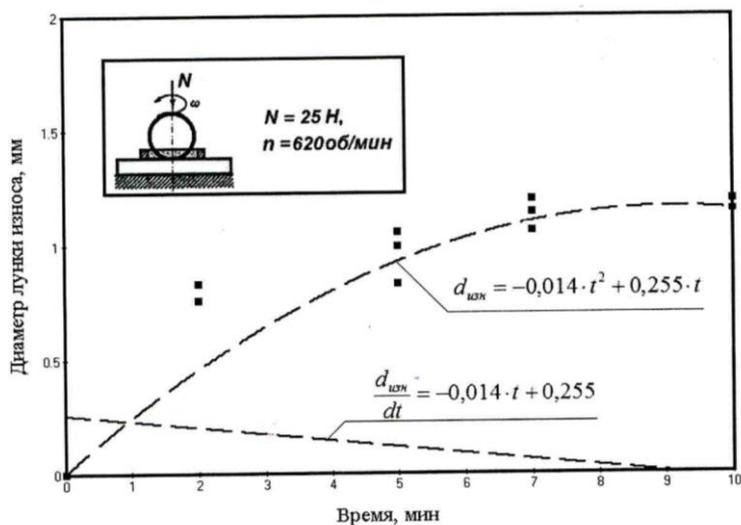


Рис. 3. Графики зависимости диаметра лунки износа от времени на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания при исследовании масла МС-20

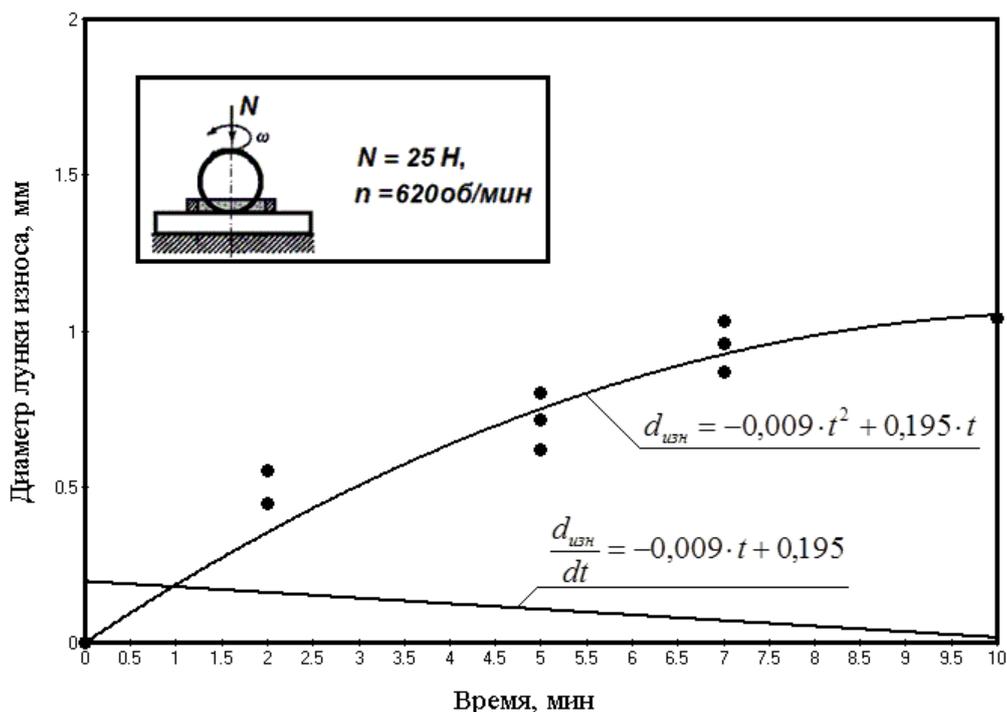


Рис. 4. Графики зависимости диаметра лунки износа от времени на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания при исследовании смазочной композиции МС-20+1%WS2

Далее скорость изнашивания также линейно убывает в связи с уменьшением контактного давления при увеличении номинальной площади контакта и постоянстве нагрузки. Максимальное значение диаметра лунки износа в данном опыте в среднем составило ≈ 1 мм. Уменьшение

начальной скорости изнашивания обусловлено, с одной стороны, дискретным экранированием поверхности трения наночастицами дисульфида вольфрама, с другой стороны, приращением вязкости смазочного материала при добавлении наночастиц, а также в связи с уменьше-

нием трения, обусловленным слоистой структурой сплошных наночастиц.

Далее исследовали смазочное масло МС-20 с добавлением 1% MoS₂. Графики зависимости диаметра лунки износа на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания от времени приведены на рис.5.

Начальная скорость изнашивания при использовании масла МС-20+1% MoS₂ составила 0,155 мм/мин. Далее скорость изнашивания также линейно убывает в связи с уменьшением контактного давления при увеличении номинальной площади контакта и постоянстве нагрузки. Максимальное значение диаметра лунки износа в данном опыте в среднем

составило ≈ 0,8 мм. Уменьшение начальной скорости изнашивания так же, как и в предыдущем случае обусловлено, с одной стороны, дискретным экранированием поверхности трения полидисперсными фуллереноподобными частицами дисульфида молибдена, с другой стороны, также приращением вязкости смазочного материала при добавлении данных частиц. Другие особенности воздействия фуллереноподобных частиц твердых смазочных материалов на поверхности трения при фрикционном взаимодействии требуют дополнительного изучения и объяснения.

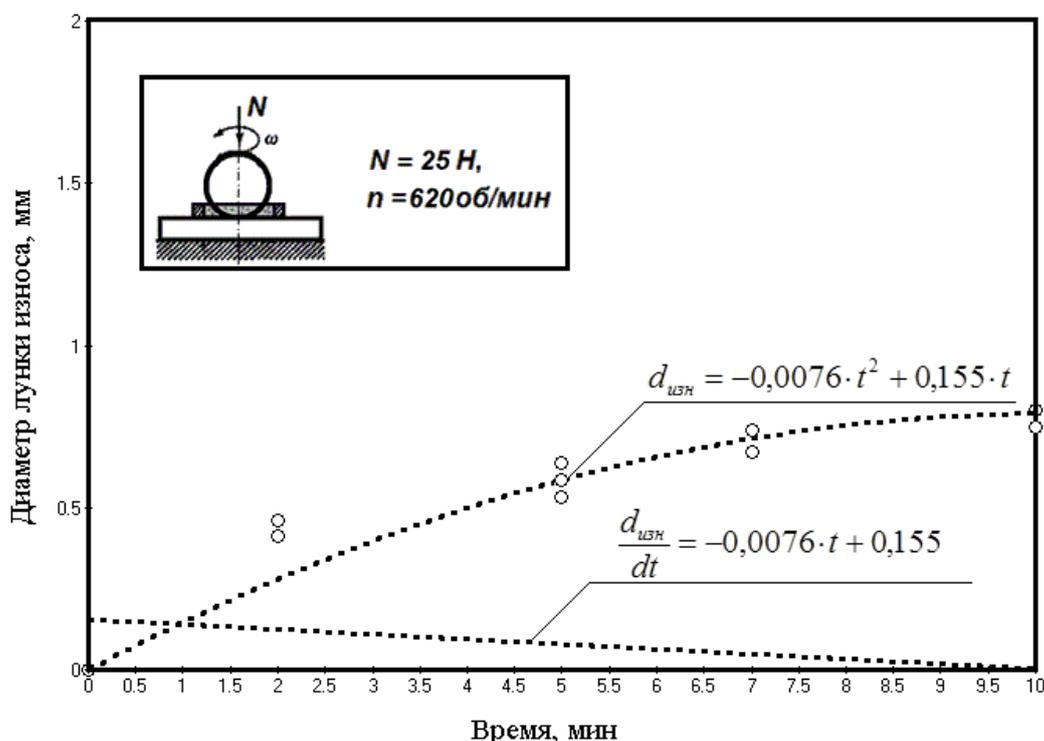


Рис. 5. Графики зависимости диаметра лунки износа от времени на пластине из СТАЛЬ 45 и скорости изнашивания при исследовании смазочной композиции МС-20+1%MoS₂

На основании проведенного лабораторного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Введение в масло марки МС-20 1% полученных методом газозольного синтеза наночастиц дисульфида вольфрама поз-

волило снизить начальную скорость изнашивания на ≈23,5%.

2. Введение в масло марки МС-20 1% полидисперсных фуллереноподобных частиц дисульфида молибдена позволило

снизить начальную скорость изнашивания на $\approx 40\%$.

3. Максимальное снижение диаметра пятна износа при использовании наночастиц дисульфида вольфрама 40 нм относительно базового масла произошло на 6 мин. Добавление частиц способствовало снижению диаметра пятна износа на 17,5%. В конце опыта смазочная композиция оказалась эффективнее на 13% относительно МС-20.

4. Максимальное снижение диаметра пятна износа при использовании полидисперсных фуллереноподобных частиц дисульфида молибдена относительно базового масла произошло в конце опыта. Добавление частиц способствовало снижению диаметра пятна износа на 30% относительно масла МС-20.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке малоотходных ресурсосберегающих технологий с применением смазочных композиционных наноматериалов и покрытий [17-39].

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 нанокмпозиционных материалов типа «износостойкая матрица - наночастицы дисульфида молибдена (вольфрама)», обладающих низким коэффициентом трения, методом химического осаждения из газовой фазы", № 15-13-00045.

Список литературы

1. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на долговечность и надёжность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 315 с.

2. Брейтуэйт Е.Р. Твёрдые смазочные материалы и антифрикционные покрытия: [пер. с англ.]. – М.: Химия, 1967. – 320 с.

3. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты / пер. с англ. под ред. Ю.С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488 с.

4. Основы технологической подготовки: учеб. пособие / А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, А.Г. Колмаков, А.Д. Бреки [и др.]; под ред. проф. А.Е. Гвоздева. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Тула: Издательство ТулГУ, 2015. – 187с.

5. Малыгин Ф.К. Материаловедение: учебник для вузов / Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев, В.И. Золотухин, Н.Н. Сергеев, А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 268 с.

6. Бреки А.Д. Триботехнические характеристики жидких смазочных и полиимидных композиционных материалов, содержащих антифрикционные наночастицы дихалькогенидов вольфрама: монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 276 с.

7. Комплексный подход к исследованию экстремальных эффектов в металлических, композиционных и нанокристаллических материалах: монография / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, Д.А. Провоторов, В.И. Золотухин, А.Д. Бреки [и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Е. Гвоздева. – Тула: Издательство ТулГУ, 2014. – 128 с.

8. Жидкие смазочные композиционные материалы, содержащие высокодисперсные наполнители, для подшипниковых узлов управляемых систем: монография / Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев [и др.]. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 144 с.

9. Триботехнические свойства жидких смазочных композиционных материалов, содержащих полученные методом

газофазного синтеза высокодисперсные дисульфид и диселенид вольфрама: монография / Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев [и др.]; под ред. А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 152с.

10. Бреки А.Д. Триботехнические свойства модифицированных смазочных масел: дис. канд. техн. наук / Институт проблем машиноведения Российской академии наук. – СПб., 2011. – 161 с.

11. Триботехнические свойства композиционных покрытий с полиимидными матрицами и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама для узлов трения машин: монография / В.В. Кудрявцев, А.Л. Диденко, Е.С. Васильева [и др.]; под ред. А.Д. Бреки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 128с.

12. Синтез и триботехнические свойства композиционных покрытий с матрицей из полиимида ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама при сухом трении скольжения / А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева [и др.] // *Материаловедение*. – 2015. – № 12. – С. 36-40.

13. Определение основных трибологических характеристик жидких смазочных композиций, содержащих мелкодисперсные частицы дихалькогенидов вольфрама / О.В. Толочко, А.Д. Бреки, Е.С. Васильева, М.Ю. Максимов // *Вопросы материаловедения*. – 2011. – №1(65). – С.143 – 149.

14. Взаимодействие дисперсных компонентов смазочного композиционного материала, содержащего наночастицы дихалькогенидов вольфрама / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 5-2. – С. 136-144.

15. Влияние смазочного композиционного материала с наночастицами дисе-

ленида вольфрама на трение в подшипниках качения / В.В. Медведева, Ю.А. Фадин, О.В. Толочко [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 11-1. – С. 171-180.

16. Взаимодействие дисперсных компонентов смазочного композиционного материала, содержащего наночастицы дихалькогенидов вольфрама / О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 7-1. – С. 197-205.

17. Выбор дисперсности наполнителя из частиц дихалькогенидов вольфрама для создания смазочного композиционного материала / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 7-1. – С. 235-243.

18. Влияние смазочного композиционного материала с наночастицами дисульфида вольфрама на трение в подшипниках качения / А.Д. Бреки, В.В. Медведева, Ю.А. Фадин, О.В. Толочко [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 11-1. – С. 78-86.

19. Оценка взаимодействия между наночастицами дихалькогенидов вольфрама в среде жидкого смазочного материала / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2015. – № 7-2. – С. 8-14.

20. Гвоздев А.Е. Производство заготовок быстрорежущего инструмента в условиях сверхпластичности. – М.: Машиностроение, 1992. – 176 с.

21. Гвоздев А.Е., Афанаскин А.В., Гвоздев Е.А. Закономерности проявления

сверхпластичности сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 6. – С. 32-36.

22. Механические свойства конструкционных и инструментальных сталей в состоянии предпревращения при термомеханическом воздействии / А.Е. Гвоздев, А.Г. Колмаков, О.В. Кузовлева, Н.Н. Сергеев, И.В.Тихонова // Деформация и разрушение материалов. – 2013. – № 11. – С. 39-43.

23. Оценка влияния жидкого смазочного композиционного 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. 17-23.

24. Гвоздев А.Е., Стариков Н.Е., Провоторов Д.А. Оценка взаимодействия между наночастицами дихалькогенидов вольфрама в среде жидкого смазочного материала / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып.7. Ч2. – С. 8-14.

25. Оценка влияния размера частиц и концентрации порошков горных пород на противоизносные свойства жидких смазочных композиций / В.В. Медведева, М.А. Скотникова, А.Д. Бреки, Н.А. Крылов, Ю.А. Фадин, А.Н. Сергеев, Д.А.Провоторов, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып.11. Ч1. – С. 57-65.

26. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «Р-ОООД» с наполните-

лем из наночастиц диселенида вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып.8. Ч2. – С. 181-188.

27. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «ДАИ» с наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, А.А. Калинин, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып.8. Ч2. – С. 148-155.

28. Триботехнические свойства композиционных покрытий на основе полигетероарилена «Р-ОДФО» с наполнителем из наночастиц диселенида вольфрама / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, О.В. Толочко, Е.С. Васильева, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, Д.А. Провоторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – Вып.11. Ч1. – С. 133-139.

29. Постановка задачи расчета деформационной повреждаемости металлов и сплавов/ А.Е. Гвоздев, Г.М. Журавлев, Н.Н. Сергеев, В.И. Золотухин, Д.А. Провоторов // Производство проката. – 2015. –Т.№ 10. – С. 18-26.

30. Многопараметрическая оптимизация параметров лазерной резки стальных листов / А.Е. Гвоздев, И.В. Голышев, И.В. Минаев, А.Н. Сергеев, Н.Н. Сергеев, И.В. Тихонова, Д.М. Хонелидзе, А.Г. Колмаков // Материаловедение. – 2015. – 32. – С. 31-36.

31. Макаров Э.С., Гвоздев А.Е., Журавлев Г.М. Теория пластичности дилатирующих сред: монография / под ред. проф.

А.Е. Гвоздева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 337 с.

32. Технология конструкционных и эксплуатационных материалов: учебник / А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков, В.И. Золотухин, Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, А.Д. Бреки; под редакцией А.Е. Гвоздева. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 351 с.

33. Журавлев Г.М., Гвоздев А.Е. Обработка сталей и сплавов в интервале температур фазовых превращений. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 320 с.

34. Пат. на изобретение 2014135667/02 (2590045). Российская Федерация. Способ получения металлического нанопорошка из отходов быстрорежущей стали в керосине/ Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев, А.Е. Гвоздев, Е.В. Агеева. Заявитель и патентообладатель: Юго-Западный государственный университет. № 2014135667/02; опублик. 10.07.2016. Бюл. №19.

35. Оценка триботехнических свойств композиционного покрытия на основе полиимида (Р – ОО)ФТ с наполнителем из наночастиц дисульфида вольфрама в условиях отсутствия деструкции полимера / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, Н.Н. Сергеев, А.А. Калинин, К.Н. Старикова, И.Д. Зайцев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сборник материалов VI Междунар. конф. (10-13 ноября 2015 г. Москва). – М.: ИМЕТ РАН, 2015. – С. 743-744.

36. Триботехнические свойства композиционных покрытий, полученных по одностадийной и двухстадийной схеме, на основе полиимида А – ОО с наполнителем из наночастиц дисульфида вольфрама в условиях отсутствия деструкции полимера / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Ва-

сильева, О.В. Толочко, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сборник материалов VI Междунар. конф. (10-13 ноября 2015 г. Москва). – М.: ИМЕТ РАН, 2015. – С. 745-746.

37. Оценка триботехнических характеристик композиционных покрытий на основе полиимида ПМ-ДАДФЭ с наполнителем из наночастиц дисульфида вольфрама в условиях отсутствия деструкции полимера / А.Д. Бреки, Ю.А. Фадин, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сборник материалов VI Междунар. конф. (10-13 ноября 2015 г. Москва). – М.: ИМЕТ РАН, 2015. – С. 747-748.

38. Испытания образцов на ударный изгиб для оценки устойчивости металлических сплавов к биокоррозии / Н.Е. Стариков, А.Е. Гвоздев, А.Д. Бреки, Д.О. Селифонтов, А.А. Калинин, О.В. Пантюхин, И.Д. Зайцев // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сборник материалов VI Междунар. конф. (10-13 ноября 2015 г. Москва). – М.: ИМЕТ РАН, 2015. – С. 769-770.

39. Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low and medium carbon low alloy steels / A.E. Gvozdev, I.V. Minaev, N.N. Sergeev, A.G. Kolmakov, D.A. Provotorov, I.V. Tikhonova // Inorganic Materials: Applied Research. –2015. –Vol. 6, No. 1. –P. 41–44. (DOI: 10.1134/S2075113315010098; <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113315010098>)

40. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets / A.E. Gvozdev, I.V. Golyshev, I.V. Minayev, A.N. Sergeyev, N.N. Sergeyev, I.V. Tikhonova, D.M. Khonelidze, A.G. Kolmakov // Inor-

ganic Materials: Applied Research. – 2015. –Vol. 6, No. 1. –P. 305–310. (DOI: 10.1134/S2075113315040115; <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113315040115>)

41. Synthesis and tribotechnical properties of composite coatings with PM–DADPE polyimide matrix and fillers of tungsten dichalcogenide nanoparticles upon dry sliding friction / A. D. Breki, A. L. Didenko, V. V. Kudryavtsev, E. S. Vasilyeva, O. V. Tolochko, A. G. Kolmakov, Yu. A. Fadin, N. N. Sergeev, A. E. Gvozdev, N. E. Starikov, D. A. Provotorov // Inorganic Materials: Ap-

plied Research. – 2016. –Vol. 7, Issue 4. – P. 542–546. (DOI: 10.1134/S2075113316040067; <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113316040067>)

42. Исследование противозносных свойств пластичного смазочного композиционного материала, содержащего дисперсные частицы слоистого модификатора трения / В.В.Медведева, А.Д. Бреки [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 1 (64). – С. 75-82.

Получено 30.08.16

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

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

O.V. Tolochko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great (e-mail: albreki@yandex.ru)

A.A. Lisenkov, Doctor of Engineering Sciences, Laureate of the State Prize of Russia in Science and Technology, IPMASH RAS (St. Petersburg) (e-mail: lisan@yandex.ru)

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

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

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

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

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

D. A. Provotorov, Candidate of Engineering Sciences, Leading Engineer-Constructor, OOO NPP "Vulkan-TM" (Tula) (e-mail: prodmyt@rambler.ru)

F.O. Kiriyyenko, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, IPMASH RAS (St. Petersburg) (e-mail: olfkir@gmail.com)

COPARITIVE ANALISES OF THE ANTIWEAR PROPERTIES OF LUBRICANT COMPOSITE MATERIALS CONTAINING SOLID TUNGSTEN DISULFIDE NANOPARTICLES AND FULLERENE-LIKE MOLYBDENUM DISULPHIDE PARTICLES BY STEEL FRICTION OF BALL BEARING STEEL 15 ON THE STEEL 45 SURFACE

The results of the comparative analyses of ball bearing steel15 wear in the friction spinning mode on the flat steel surface using lubricating oil MS20 compositions containing solid tungsten disulfide nanoparticles and fullerene-like molybdenum disulphide particles.

Ball bearing steel 15 12.7 mm in diameter was used as a rotating sample. Rectangular steel 45 plate was used as a fixed counterface. This plate was pressed by linear bushing which was filled with lubricants. The studies were conducted on the axial friction machine. There were used two lubricants - 1% tungsten 40 nm disulfide nanoparticles oil and 1% fullerene fine particles molybdenum disulfide MS20 oil (polydisperse lubricant, particles of different sizes from 2 μm to nanoparticles). The results of the research:

- 1 % of gas-phase synthesis produced tungsten disulfide nanoparticles added to MS20 oil reduced initial wear rate by $\approx 23,5\%$.

- 1 % of polydisperse fullerene molybdenum disulfide particles added to MS20 oil reduced initial wear rate by $\approx 40\%$;

- maximum reduction in wear scar diameter when using tungsten 40 nm disulfide nanoparticles relative to the base oil occurred at the 6th min. These particles helped to reduce wear scar diameter by 17.5%. At the end of the experiment lubricant was 13% more efficient than MS-20 oil;

- maximum reduction in wear scar diameter when using polydisperse fullerene molybdenum disulfide particles relative to the base oil occurred in the end of the experiment. These particles helped to reduce wear scar diameter by 30%.

Key words: friction, wear, nanoparticles, solid film dry lubricant, lubricant, lubricating film, lube lubricant.

Reference

1. Rozenberg Ju.A. Vliyanie smazochnyh masel na dolgovechnost' i nadjozhnost' detalej mashin. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 315 s.

2. Brejtujajt E.R. Tvjordye smazochnye materialy i antifrikcionnye pokrytija: [per. s angl.]. – M.: Himija, 1967. – 320 s.

3. Klamann D. Smazki i rodstvennye produkty. Sintez. Svojstva. Primenenie. Mezhdunarodnye standarty / per. s angl. pod red. Ju.S. Zaslavskogo. – M.: Himija, 1988. – 488 s.

4. Osnovy tehnologicheskoy podgotovki: ucheb. posobie / A.N. Sergeev, A.E. Gvozdev, A.G. Kolmakov, A.D. Breki [i dr.]; pod red. prof. A.E. Gvozdeva. – Izd. 2-e, ispr. i dop. – Tula: Izdatel'stvo TulGU, 2015. – 187s.

5. Malygin F.K. Materialovedenie: uchebnik dlja vuzov / N.E. Starikov, A.E. Gvozdev, V.I. Zolotuhin, N.N. Sergeev, A.D. Breki. – Tula: Izd-vo TulGU, 2015. – 268 s.

6. Breki A.D. Tribotekhnicheskie karakteristiki zhidkih smazochnyh i poliimidnyh kompozicionnyh materialov, soderzhashhих antifrikcionnye nanochasticy dihal'kogenidov vol'frama: monografija. – Tula: Izd-vo TulGU, 2015. – 276 s.

7. Kompleksnyj podhod k issledovaniju jekstremal'nyh jeffektov v metallicheskih, kompozicionnyh i nanokristallicheskih materialah: monografija / N.N. Sergeev, A.N. Sergeev, D.A. Provotorov, V.I. Zolotuhin, A.D. Breki [i dr.]; pod red. d-ra tehn. nauk, prof. A.E. Gvozdeva. – Tula: Izdatel'stvo TulGU, 2014. – 128s.

8. Zhidkie smazochnye kompozicionnye materialy, soderzhashhie vysokodispersnye napolniteli, dlja podshipnikovyh uzlov upravljaemyh sistem: monografija / E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, N.N. Sergeev [i dr.]. – Tula: Izd-vo Tul-GU, 2014. – 144 s.

9. Tribotekhnicheskie svojstva zhidkih smazochnyh kompozicionnyh materialov, soderzhashhих poluchennye metodom gazofaznogo sinteza vysokodispersnye disul'fid i diselenid vol'frama: monografija / E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, N.N. Sergeev [i dr.]; pod red. A.D. Breki. – Tula: Izd-vo TulGU, 2014. – 152s.

10. Breki A.D. Tribotekhnicheskie svojstva modifirovannyh smazochnyh masel: dis. kand. tehn. nauk / Institut problem mashinovedenija Rossijskoj akademii nauk. – SPb., 2011. – 161 s.

11. Tribotekhnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij s poliimidnymi matricami i napolniteljami iz nanochastic

dihal'kogenidov vol'frama dlja uzlov trenija mashin: monografija / V.V. Kudrjavcev, A.L. Didenko, E.S. Vasil'eva [i dr.]; pod red. A.D. Breki. – Tula: Izd-vo TulGU, 2015. – 128s.

12. Sintez i tribotekhnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij s matricoj iz poliimida PM-DADFJe i napolniteljami iz nanochastich dihal'kogenidov vol'frama pri suhom trenii skol'zhenija / A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, E.S. Vasil'eva [i dr.] // Materialovedenie. – 2015. – № 12. – S. 36-40.

13. Opredelenie osnovnyh tribologicheskikh harakteristik zhidkih smazochnyh kompozicij, sodержashhij melkodispersnye chasticy dihal'kogenidov vol'frama / O.V. Tolochko, A.D. Breki, E.S. Vasil'eva, M.Ju. Maksimov // Voprosy materialovedenija. – 2011. – №1(65). – S.143 – 149.

14. Vzaimodejstvie dispersnyh komponentov smazochnogo kompozicionnogo materiala, sodержashhego nanochasticy dihal'kogenidov vol'frama / A.D. Breki, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 5-2. – S. 136-144.

15. Vlijanie smazochnogo kompozicionnogo materiala s nanochasticami diselenida vol'frama na trenie v podshipnikah kachenija / V.V. Medvedeva, Ju.A. Fadin, O.V. Tolochko [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 11-1. – S. 171-180.

16. Vzaimodejstvie dispersnyh komponentov smazochnogo kompozicionnogo materiala, sodержashhego nanochasticy dihal'kogenidov vol'frama / O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 7-1. – S. 197-205.

17. Vybor dispersnosti napolnitelja iz chastic dihal'kogenidov vol'frama dlja sozdanija smazochnogo kompozicionnogo materiala / A.D. Breki, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 7-1. – S. 235-243.

18. Vlijanie smazochnogo kompozicionnogo materiala s nanochasticami disulfida vol'frama na trenie v podshipnikah kachenija / A.D. Breki, V.V. Medvedeva, Ju.A. Fadin, O.V. Tolochko [i dr.] // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 11-1. – S. 78-86.

19. Ocenka vzaimodejstvija mezhdur nanochasticami dihal'kogenidov vol'frama v srede zhidkogo smazochnogo materiala / A.D. Breki, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, D.A. Provotorov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. – 2015. – № 7-2. – S. 8-14.

20. Gvozdev A.E. Proizvodstvo zgotovok bystrorezhushhego instrumenta v uslovijah sverhplastichnosti. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 176 s.

21. Gvozdev A.E., Afanaskin A.V., Gvozdev E.A. Zakonomernosti projavlenija sverhplastichnosti stalej R6M5 i 10R6M5-MP // Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov. – 2002. – № 6. – S. 32-36.

22. Mehaniceskie svojstva konstrukcionnyh i instrumental'nyh stalej v sostojanii predprevrashhenija pri termomehanicheskom vozdejstvii / A.E. Gvozdev, A.G. Kolmakov, O.V. Kuzovleva, N.N. Sergeev, I.V. Tihonova // Deformacija i razrushenie materialov. – 2013. – № 11. – S. 39-43.

23. Ocenka vlijanija zhidkogo smazochnogo kompozicionnogo materiala s nano-

chasticami geomodifikatora na trenie v podshipnikovom uzle / A.D. Breki, O.V. Tolochko, N.E. Starikov, D.A. Provotorov, N.N.Sergeev, E.V. Ageev, A.E. Gvozdev // *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii.* – 2015. – № 3 (16). – S. 17-23.

24. Gvozdev A.E., Starikov N.E., Provotorov D.A. Ocenka vzaimodejstvija mezhdu nanochasticami dihal'kogenidov vol'frama v srede zhidkogo smazochno materiala / A.D. Breki, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, D.A. Provotorov // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki.* – 2015. – Vyp.7. Ch2. – S. 8-14.

25. Ocenka vlijanija razmera chastic i koncentracii poroshkov gornyh porod na protivoznosnye svojstva zhidkih smazochnyh kompozicij / V.V. Medvedeva, M.A. Skotnikova, A.D. Breki, N.A. Krylov, Ju.A. Fadin, A.N. Sergeev, D.A.Provotorov, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki.* – 2015. – Vyp.11. Ch1. – S. 57-65.

26. Tribotehnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij na osnove poligeteroarilena «R-OOOD» s napolnitelem iz nanochastic diselenida vol'frama / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, D.A. Provotorov // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki.* – 2015. – Vyp.8. Ch2. – S. 181-188.

27. Tribotehnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij na osnove poli-geteroarilena «DAI» s napolniteljami iz nanochastic dihal'kogenidov vol'frama / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, A.A. Kalinin, D.A.

Provotorov // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki.* – 2015. – Vyp.8. Ch2. – S. 148-155.

28. Tribotehnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij na osnove poligeteroarilena «R-ODFO» s napolnitelem iz nanochastic diselenida vol'frama / A.D. Breki, Ju.A.Fadin, A.L.Didenko, V.V.Kudrjavcev, O.V. Tolochko, E.S. Vasil'eva, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, D.A. Provotorov // *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki.* – 2015. – Vyp.11. Ch1. – S. 133-139.

29. Postanovka zadachi rascheta deformacionnoj povrezhdaemosti metallov i splavov/ A.E. Gvozdev, G.M. Zhuravlev, N.N. Sergeev, V.I. Zolotuhin, D.A. Provotorov // *Proizvodstvo prokata.* – 2015. – T№ 10. – S. 18-26.

30. Mnogoparametricheskaja optimizacija parametrov lazernoj rezki stal'nyh listov / A.E. Gvozdev, I.V. Golyshchev, I.V. Minaev, A.N. Sergeev, N.N. Sergeev, I.V. Tihonova, D.M. Honelidze, A.G. Kolmakov // *Materialovedenie.* – 2015. – 32. – S. 31-36.

31. Makarov Je.S., Gvozdev A.E., Zhuravlev G.M. Teorija plastichnosti dilatirujushchih sred: monografija / pod red. prof. A.E. Gvozdeva. – 2-e izd., pererab. i dop. – Tula: Izd-vo TulGu, 2015. – 337 s.

32. Tehnologija konstrukcionnyh i jekspluatacionnyh materialov: uchebnik / A.E. Gvozdev, N.E. Starikov, V.I. Zolotuhin, N.N. Sergeev, A.N. Sergeev, A.D. Breki; pod redakciej A.E. Gvozdeva. – Tula: Izd-vo TulGU, 2016. – 351 s.

33. Zhuravlev G.M., Gvozdev A.E. Obработка сталей и сплавов в интервале температур фазовых превращений. – Tula: Izd-vo TulGU, 2016. 320 s.

34. Pat. na izobretenie 2014135667/02 (2590045). Rossijskaja Federacija/Sposob poluchenija metallicheskogo nanoporoshka iz

othodov bystrorezhushhej stali v kerosine/ E.V. Ageev, E.A. Vorob'ev, A.E. Gvozdev, E.V. Ageeva. *Zajavitel' i patentoobladatel': Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. № 2014135667/02; opubl. 10.07.2016. Bjul. №19.*

35. Ocenka tribotekhnicheskikh svojstv kompozicionnogo pokrytija na osnove poliimida (R – OOO)FT s napolnitelem iz nanochastic disul'fida vol'frama v uslovijah otsutstvija destrukcii polimera / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, N.N. Sergeev, A.A. Kalinin, K.N. Starikova, I.D. Zajcev, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov // *Deformacija i razrushenie materialov i nanomaterialov: sbornik materialov VI Mezhdunar. konf. (10-13 nojabrja 2015 g. Moskva).* – M.: IMET RAN, 2015. – S. 743-744.

36. Tribotekhnicheskie svojstva kompozicionnyh pokrytij, poluchennyh po odnostadijnoj i dvuhstadijnoj sheme, na osnove poliimida A – OOO s napolnitelem iz nanochastic disul'fida vol'frama v uslovijah otsutstvija destrukcii polimera / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov // *Deformacija i razrushenie materialov i nanomaterialov: sbornik materialov VI Mezhdunar. konf. (10-13 nojabrja 2015 g. Moskva).* – M.: IMET RAN, 2015. – S. 745-746.

37. Ocenka tribotekhnicheskikh harakteristik kompozicionnyh pokrytij na osnove poliimida PM-DADPE s napolnitelem iz nanochastic disul'fida vol'frama v uslovijah otsutstvija destrukcii polimera / A.D. Breki, Ju.A. Fadin, A.L. Didenko, V.V. Kudrjavcev, E.S. Vasil'eva, O.V. Tolochko, A.E. Gvozdev, N.E. Starikov // *Deformacija i razrushenie materialov i nanomaterialov: sbornik materialov VI Mezhdunar. konf.*

(10-13 nojabrja 2015 g. Moskva). – M.: IMET RAN, 2015. – S. 747-748.

38. Ispytanija obrazcov na udarnyj izgib dlja ocenki ustojchivosti metallicheskih splavov k biokorrozii / N.E. Starikov, A.E. Gvozdev, A.D. Breki, D.O. Selifontov, A.A. Kalinin, O.V. Pantjuhin, I.D. Zajcev // *Deformacija i razrushenie materialov i nanomaterialov: sbornik materialov VI Mezhdunar. konf. (10-13 nojabrja 2015 g. Moskva).* – M.: IMET RAN, 2015. – S. 769-770.

39. Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low and medium carbon low alloy steels / A.E. Gvozdev, I.V. Minaev, N.N. Sergeev, A.G. Kolmakov, D.A. Provotorov, I.V. Tikhonova // *Inorganic Materials: Applied Research.* – 2015. – Vol. 6, No. 1. – P. 41–44. (DOI: 10.1134/S2075113315010098; <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113315010098>)

40. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets / A.E. Gvozdev, I.V. Golyshev, I.V. Minayev, A.N. Sergeev, N.N. Sergeev, I.V. Tikhonova, D.M. Khonelidze, A.G. Kolmakov // *Inorganic Materials: Applied Research.* – 2015. – Vol. 6, No. 1. – P. 305–310. (DOI: 10.1134/S2075113315040115; <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113315040115>)

41. Synthesis and tribotechnical properties of composite coatings with PM-DADPE polyimide matrix and fillers of tungsten dichalcogenide nanoparticles upon dry sliding friction / A. D. Breki, A. L. Didenko, V. V. Kudryavtsev, E. S. Vasilyeva, O. V. Tolochko, A. G. Kolmakov, Yu. A. Fadin, N. N. Sergeev, A. E. Gvozdev, N. E. Starikov, D. A. Provotorov // *Inorganic Materials: Applied Research.* – 2016. – Vol. 7, Issue 4. – P. 542–546. (DOI: 10.1134/S2075113316040067; <http://>

link.springer.com/article/10.1134%2FS2075113316040067)

42. Issledovanie protivoznosnyh svojstv plastichnogo smazochnogo kompozicionnogo materiala, sodержashhego dis-

persnye chasticy sloistogo modifikatora trenija / V.V.Medvedeva, A.D. Breki [i dr.] // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 1 (64). – S. 75-82.

УДК 69.032

Ю.В. Скрипкина, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: julia_skr@mail.ru)

АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

В данной работе рассмотрено историческое развитие архитектуры промышленных комплексов. Индустриальный пейзаж с крупными промышленными зданиями и сооружениями является неотъемлемой частью почти всех современных городов. Проблема эстетических качеств предприятий переросла в проблему красоты города, когда развитие промышленности в городах значительно выросло. Раскрыто восприятие архитектуры как сложное физико-физиолого-психолого-социальное составляющее. От уровня развития чувств человека, его подготовки и воспитания связано эстетическое и художественное восприятие архитектурно-композиционной организации городской среды. К эстетическому загрязнению приводит возведение несоразмерных окружающему ландшафту зданий, слишком протяженных длинных объектов, единообразия промышленной архитектуры, невыразительность отдельных объектов, отсутствие гармоничного единства с окружающей средой. Экологическая роль светоцветовой среды в архитектуре беспрецедентна, т.к. нет другого фактора в природе, который так непосредственно и комплексно влиял бы на комфортность, выразительность, а ныне и на экономичность и энергосбережение в архитектуре. Гармонично сочетая проектируемые части объекта между собой по функциональному назначению, форме, цвету, размеру и другим характеристикам, архитектор формирует эстетически совершенный комплекс. Созерцание красивой архитектуры вызывает у человека, так называемое, эстетическое чувство – специфическую эмоциональную реакцию. Красота архитектуры также имеет социально-нравственное значение, способствует воспитанию разумных потребностей и интересов человека, соответствующих прогрессивным тенденциям развития общества. Восприятие прекрасного вызывает состояние радости, бескорыстной любви, чувство добра, свободы, духовного обогащения человека. В каждом промышленном здании, предприятии, индустриальном ансамбле архитектурными средствами воплощается историческая информация об эпохе их создания.

Ключевые слова: художественный образ, зодчество, архитектура, промышленность, здание.

Современные разработки проектов территориального планирования обеспечивают благоприятную основу для жизнедеятельности населения, позволяют рационально выбирать и использовать территории, обеспечивают организацию комфортной среды обитания и наиболее эффективное ведение какой-либо деятельности, позволяют обоснованно прогнозировать инвестиции в объекты строительства [1].

Возрастающий риск для жизни и здоровья людей из-за снижения качества окружающей среды в связи с ростом

промышленного производства, постоянная угроза крупных техногенных катастроф и деградация природных экосистем, непомерный груз отходов (около 90% потребляемых ресурсов идет в отходы) с каждым днем становятся все более актуальными проблемами [5].

Промышленная архитектура – довольно молодая отрасль зодчества. Она зародилась тогда, когда культовая и гражданская архитектура уже имели многовековую историю. Несмотря на свою молодость, она смогла внести существенный вклад в развитие современного зод-