



Электронное научное издание
«Ученые заметки ТОГУ»
2013, Том 4, № 4, С. 1519 – 1531

Свидетельство
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010
<http://ejournal.khstu.ru/>
ejournal@khstu.ru

УДК 621.3

© 2013 г. **В. А. Иванов,**
В. А. Авдеев

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Проведены исследования триботехнических характеристик самосмазывающихся полимерных композитов. Испытания в жидких средах не выявили особых предпочтений, потому что большинство образцов (кроме Ф4К15М15 и Loctait 3472) показали приращение массы за счет адсорбции воды и масла в пористую структуру композиционных материалов.

Ключевые слова: триботехнические характеристики, самосмазывающиеся полимерные композиты, жидкие среды, адсорбция

V. A. Ivanov, V. A. Avdeev

STUDY OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SELF-LUBRICATING POLYMER COMPOSITES

Carried out study of tribological characteristics of self-lubricating polymer composites. Testing in liquid media showed no particular preference, because most of the samples (except F4K15M15 and Loctait 3472) showed increment of weight due to the adsorption of water and oil in the porous structure of composite materials.

Keywords: tribological characteristics, self-lubricating polymer composites, liquid media, adsorption

В НИЛ композиционных материалов Тихоокеанского государственного университета в области ПКМ были начаты работы в конце 80-х годов прошлого столетия с создания самосмазывающегося подшипника для судовых механизмов с высокой несущей способностью [1].

В процессе исследований стало очевидным, что антифрикционные и физико-механические свойства, являются структурно-чувствительными и определяются как атомным и молекулярным строением вещества рабочего тела, так и конструкцией подшипника и узла трения на различных масштабных уровнях. Этот подход был нами использован при создании ряда антифрикционных ПКМ различного назначения [2–5].

В настоящее время резко возросли требования к экологической чистоте современного транспортного и технологического оборудования и машин, судов, гидротурбин, шлюзов, гидравлического оборудования, нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего оборудования эксплуатируемого в водных средах.

Одним из кардинальных путей выполнения повышения экологических требований является замена масляной смазки на системы со смазкой водой. За рубежом выпуск турбин с системами масляной смазки практически прекращен, отечественные предприятия также переходят на выпуск экологически чистых турбин с системами водяной смазки, оснащенных самосмазывающимися ПКМ [6]. Для замены традиционных материалов в ряде научных и производственных организациях разработаны новые антифрикционные углепластики на основе терморезистивных матриц и углеродных тканей. В НИЛ КМ ТОГУ проведены исследования и разработаны новые материалы на основе политетрафторэтилена, эпоксидной смолы, наполнителей и армирующих углетканей, получивших название – МАС–4УГ, МАС–3УГ [6, 7, 8, 9].

Таким образом, в связи с повышением экологических требований наряду с ростом физико-механических и антифрикционных характеристик узлов трения машин обозначилась тенденция унификации и универсализации современных подшипниковых материалов и конструкции, работоспособных в различных средах – безсмазочных, на базе использования современных высокопрочных самосмазывающихся ПКМ.

Цель работы – исследование новых самосмазывающихся материалов с повышенной прочностью и работоспособными без смазки, в воде и в масле, а также автоматизация технологических процессов их производства и испытания.

Задачи исследования:

- 1) разработка методики триботехнических исследований материалов;
- 2) разработка модернизированного стенда для триботехнических испытаний с регулируемым электроприводом и автоматизированным контролем параметров трения на основе контроллера с панелью для визуализации параметров;
- 3) разработка программы для контроля, сбора и обмена данных триботехнических испытаний и расчета параметров трения;
- 4) выполнение сравнительных испытаний полимерных композиционных материалов при различных условиях смазки.

Модернизация машины трения МФТ включала создание контрольно-измерительной системы на основе использования контроллера 4PP045.0571-61 с визуализацией параметров и модулей ввода/вывода фирмы V&R.

Общий вид системы контроля и регистрации данных приведен на рис. 1. В системе использован контроллер 4PP045.0571-62 и модули ввода/вывода фирмы V&R производства Австрии. Контроллер имеет сенсорный экран на котором можно получать визуальные схемы и диаграммы процесса исследования и задавать кнопки управления. К контроллеру можно подключать различные модули ввода /вывода. Модули ввода /вывода используются для подключения к ним датчиков и различных устройств.

Контроллер и модули обмениваются между собой данными через интерфейс X2X.

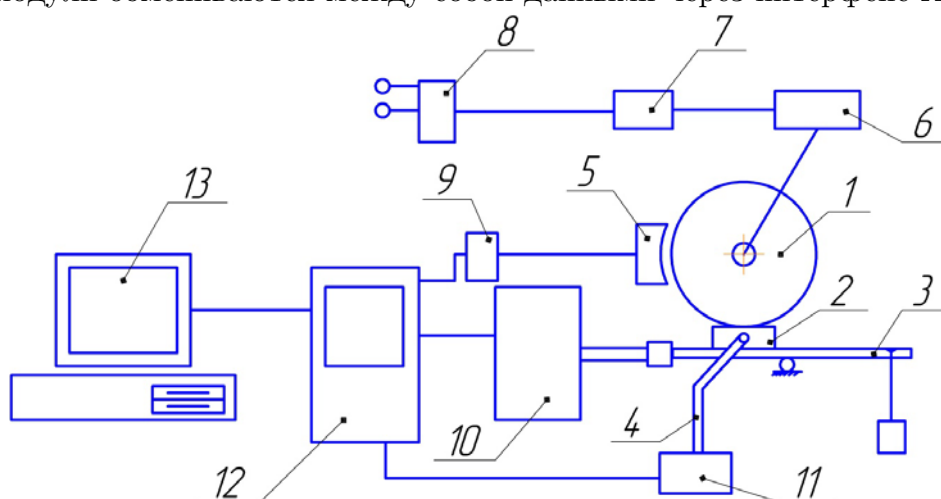


Рис. 1. Схема измерительной системы машины трения МФТ: 1 – диск стальной; 2 – исследуемый образец; 3 – рычаг с грузом; 4 – датчик измерения температуры; 5 – датчик измерения частоты вращения; 6 – электропривод диска; 7 – частотный регулируемый привод (ЧРП); 8 – модуль подключения привода; 9 – счетный модуль; 10 – модуль входов; 11 – модуль температурных аналоговых входов; 12 – контроллер; 13 – компьютер

Модули ввода/вывода собираются в блок, на первой позиции этого блока устанавливается передатчик шины. Блок модулей системы измерения МФТ состоит из пяти функциональных модулей:

- приёмник шины X20BR9300;
- модуля аналоговых входов X20AI1744;
- модуля температурных входов X20AT2222;
- счетного модуля X20DC1396.

Тензометрический датчик представляет собой тензомост собранный на четырёх тензорезисторах. Тензорезисторы наклеены на специально спрофилированную балку. При изгибе балки на выходе тензомоста появляется аналоговый сигнал, который поступает на модуль, усиливается там и преобразуется АЦП в код и передается по шине X2X в контроллер.

Датчики температуры Pt100 представляют собой платиновые термосопротивления. Модуль измеряет сопротивление датчика и преобразует его в цифровой код, который соответствует измеренной температуре, затем этот код передается через X2X в контроллер.

Оптический инкрементный энкодер к модулю X20DC1396, который представляет собой электронный счётчик. Модуль подсчитывает количество импульсов от энкодера по каналам А и В. Сигналы от энкодера в каналах А, В сдвинуты по фазе на 90° , что позволяет модулю распознать направление вращения вала датчика (левое/правое). Накопленные данные в модуле также передаются через модуль X20BR9300 в контроллер.

Питание модулей осуществляется от источника питания 220В/=24В.

Методикой проведения сравнительных испытаний являлось определение триботехнических параметров антифрикционных триботехнических параметров при различных условиях смазки и нагрузочно-скоростных условий трения

$$Y = Y(X, L, S),$$

где X – нагрузочные и скоростные режимы трения; S – материалы; L – условия

смазки [2].

При выборе материалов (табл.1) для испытаний руководствовались следующими положениями: а) необходимостью получения сравнительных трибохарактеристик при трении в разных средах – без смазки, в воде и с маслом; б) должны быть представлены разные классы материалов как термопластовые, так и реактопластовые и эластомерные; в) материалы применяются при ремонте машин, но не все их характеристики известны. Ниже приведены краткие характеристики материалов, используемых в эксперименте.

Капролон (полиамид – Б) конструкционный материал применяется в антифрикционных деталях и элементах в диапазоне температур от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$. Имеет предел прочности при сжатии 90 МПа, предел прочности при изгибе 80 МПа, модуль упругости при сжатии 2–4 ГПа, твердость по Бринеллю НВ 130 МПа.

Таблица 1

Материалы для триботехнических испытаний

№ п/п	Марка образца	Наименование материалов
1.	МАС-3ХБ	Материал антифрикционный самосмазывающийся, армированный ХБ – тканью
2.	Ф4К15М15	Фторопластовый композиционный материал
3.	Капролон	Термопластичный полиамид
4.	Фенилон	Конструкционный термостойкий пластик на основе ароматических полиамидов
5.	МАС-4УГ	Материал антифрикционный самосмазывающийся, армированный углетканью
6.	L3474	Эпоксидный состав повышенной износостойкости Loctait 3474
7.	L3479	Алюмонаполненная шпатлевка повышенной термостойкости Loctait 3479
8.	L3472	Сталенаполненный жидкий эпоксидный состав Loctait 3472
9.	ПУ Красный	Полеуретан ЭЛАСТ Э – 208 Т
10.	ПУ Бедретный	Полеуретан ЭЛАСТ 203 Т

Полиуритан «ЭЛАСТ» Э – 203Т фирмы «Сомэкс» – литевой полиуретановый эластомер на основе полиокситетраметилгликоля и ТДИ сочетает высокую прочность и износостойкость с высокой гидролитической стойкостью и морозостойкостью. Имеет твердость по Шору 95, прочность при растяжении 41 МПа, температура эксплуатации – $30 \dots +10^{\circ}\text{C}$.

Материал МАС – 3ХБ конструкционный эпоксидофторопластовый материал армированный хлопчатобумажной тканью с несущей способностью до 50 МПа. Получен методом радиальной намотки [8]. Имеет прочность при сжатии 190 МПа, при растяжении 104 МПа, твердость НВ 205 МПа.

Материал МАС – 4УГ конструкционный эпоксидофторопластовый материал, армированный углетканью с несущей способностью до 90 МПа, при работе без смазки и $V = 0,03$ м/с. Получен центробежным способом, предел прочности при сжатии 235 МПа, при растяжении 125 МПа, твердость НВ 380 МПа [9].

Loctait 3472 (Локтайт 3472) является сталенаполненным двухкомпонентным эпоксидным составом, полимеризующимся при комнатной температуре. Состав смешивается в пропорции 1:1 и имеет очень низкую усадку, а также не ржавеет. Прочность на сдвиг 25 Н/мм^2 , прочность на сжатие 70 Н/мм^2 . Рабочая температура $-20 \dots +120^{\circ}\text{C}$. Предназначен для ремонта изношенных частей, включая ванны, корпуса шпоночных канавок и фланцев и др.

Loctait 3474 (Локтайт 3474) является минералонаполненным двухкомпонентным эпоксидным составом, полимеризующимся при комнатной температуре, после смешивания состава в пропорции 1:1. Применяется для ремонта и восстановления изношенного и поврежденного оборудования. Прочность на сдвиг 20 Н/мм², прочность на сжатие 70 Н/мм².

Loctait 3479 (Локтайт 3479) является наполненным алюминием двухкомпонентным эпоксидным составом. Применяется для ремонта и восстановления изношенного и поврежденного оборудования. Прочность на сдвиг 20 Н/мм², прочность на сжатие 90 Н/мм². Рабочая температура -20 ... +190°C.

Фенилон С2 – конструкционный пластик. На основе ароматических полиамидов предназначенный для эксплуатации в нагруженных узлах трения при температурах -100 ... +260°C. Имеет плотность 1,32 г/см³, разрушающее напряжение на изгиб 160 МПа, ударную вязкость, 35 КДж/м².

Фторопласт Ф4К15М5 – композиционный материал (15% кокса, 5% дисульфида молибдена) применяется для изготовления подшипников скольжения в диапазоне температур -60 ... +250°C. Имеет твердость НВ 49МПа, напряжение 20 МПа при 10% деформации, предельное pV 1,078 МПа·м/с.

Образцы изготавливали в виде колодочек размером 16×12×8 мм. В качестве контртела применялся стальной диск диаметром 210 мм и шириной 12 мм, изготовленный из стали Х17Н10Г, с шероховатостью Ra 0,65.

Методика испытаний включала эксперимент продолжительностью пять этапов по пять циклов. Пять циклов это ступенчатое изменение режима нагрузки в Н: 24,2; 43,6; 63,0; 82,5; и 111,6 при постоянной скорости скольжения. Каждый цикл продолжался десять минут. Затем начинался новый этап, скорость повышалась и режим нагрузки повторялся. Без смазки диапазон скоростей скольжения изменялся от 0,3 до 1,5 м/с. При смазке водой и маслом диапазон скоростей составлял 0,4 – 8 м/с.

Датчики, установленные на МФТ производили измерение следующих параметров: силы трения, $F_{тр}$, Н; количество оборотов вала привода диска, n , об; температуру образца, $T_{об}$, °С; температуру среды, $T_{ср}$, °С. Для определения силы трения проводилась тарировка тензометрического датчика, где определялись коэффициенты a и b в формуле

$$F_{тр} = ax + b,$$

где x – код, полученный с датчика при заданной нагрузке P ; a , b – коэффициенты: $a = 0,099$; $b = 0,868$.

Коэффициент трения определяли по формуле

$$f = F_{тр}/P,$$

где P – нагрузка на образец, Н.

Нагрузка на образец определяется по формуле

$$P = (1280 + 4,95m) \cdot 9,81,$$

где m – масса груза в граммах на рычаге.

Скорость в зоне контакта образца рассчитывался по формуле

$$V_{тр} = \frac{R_{конт} \pi}{30 \times 1000} \times \frac{20M_3}{k_{имп}} \left(\frac{M}{сек} \right),$$

где, $R_{конт}$ – радиус контртела, мм; M_3 – количество импульсов энкодера за три секунды, соответственно $20M_3$ количество импульсов за одну минуту; $k_{имп}$ – количество импульсов энкодера за один оборот ($k_{имп} = 2000$).

Путь трения определялся по формуле

$$S_{\text{ТР}} = \frac{2\pi R_{\text{диск}}}{1000} \times \frac{M_{\text{имп}}}{k_{\text{имп}}}, \text{ (М)}$$

где $M_{\text{имп}}$ – количество импульсов энкодера за время исследования образца.
Давление в контакте определяли по формуле

$$p_{\text{кон}} = \frac{P}{S_{\text{к}}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{см}^2} \right),$$

где $S_{\text{к}}$ – площадь контакта образца с контртелом, см².
Параметр PV рассчитывается по формуле

$$PV = p_{\text{кон}} V_{\text{тр}} \left(\frac{\text{Нс}}{\text{см}^2 \cdot \text{мм}} \right).$$

Интенсивность износа определяли по формуле

$$i = \frac{\Delta m}{S_{\text{тр}}} \text{ г/М},$$

где Δm – изменение массы образца за период эксперимента в г; $L_{\text{тр}}$ – путь трения в м.

$$L_{\text{тр}} = N_{\text{ц}} \pi D,$$

где D – диаметр диска 210 мм; $N_{\text{ц}}$ – число циклов пройденного пути.

Программа управления системой составляется в системе программирования AutomationStudio. Система AutomationStudio используется для разработки проекта программной среды, которая загружается в контроллеры фирмы V&R. Программный проект включает в себя физическую модель, которую можно посмотреть на вкладке PhysicalView показанную на рис. 2.

Физическая модель отражает, как составлена система, и какие модули включены в неё. Через эту вкладку можно посмотреть какие типы данных включены в каждый модуль и назначить переменные, через которые данные модули будут обмениваться с программой.

Логическую модель можно увидеть на рисунке 3. В логическую модель включены все программы, по которым осуществляется алгоритм функционирования системы, глобальные и локальные переменные, а так же программы визуализации. Код программы написан на языке ANSIC и имеет три программы, каждая из которых состоит из двух частей. Первая часть выполняется при запуске системы один раз – программа инициализации. Вторая часть выполняется циклически с интервалом цикла – циклическая программа. Модель конфигурации, приведенная на рис. 4, содержит перечень файлов операционной системы, которые загружаются в контроллер.

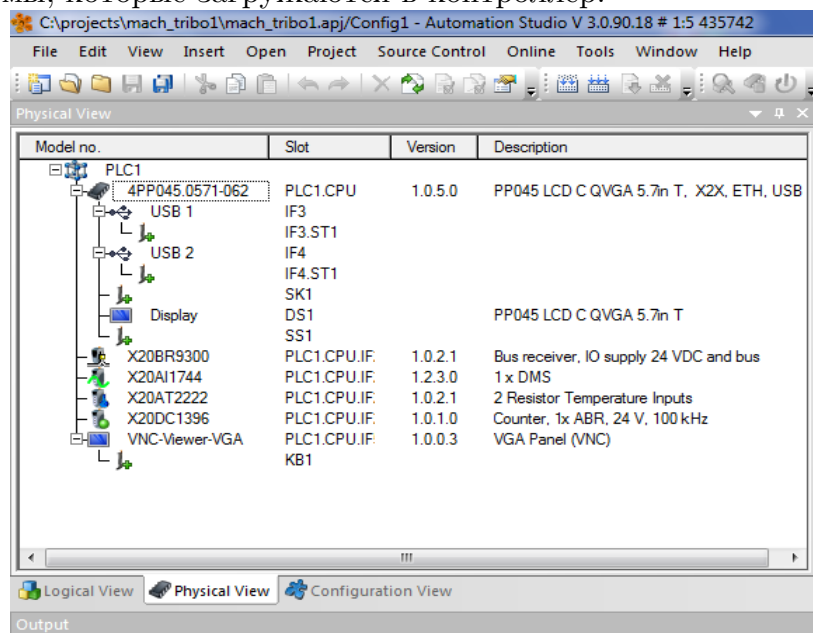


Рис. 2. Физическая модель

Для удобства работы с системой в AutomationStudio с помощью программы визуализации были созданы рабочие экраны. При запуске системы появляется экран, показанный на рисунке 5. В программе визуализации предусмотрено графическое отображение температуры образца, сил трения и нагрузки, скорости трения. Графики выводятся на дисплей компьютера, который подключен к контроллеру через Ethernet. На персональном компьютере запускается программа VNC, которая получает данные с контроллера.

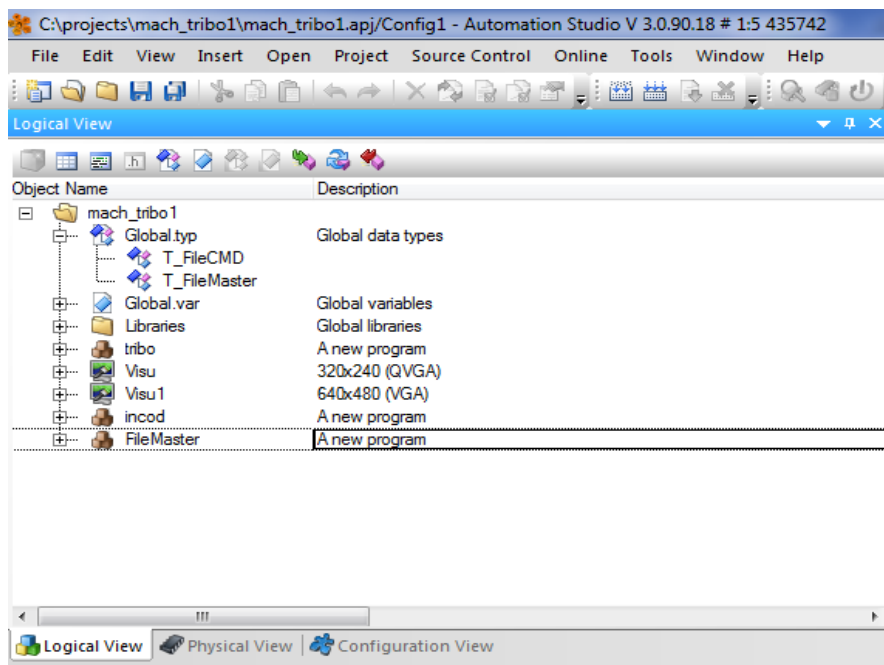


Рис. 3. Логическая модель

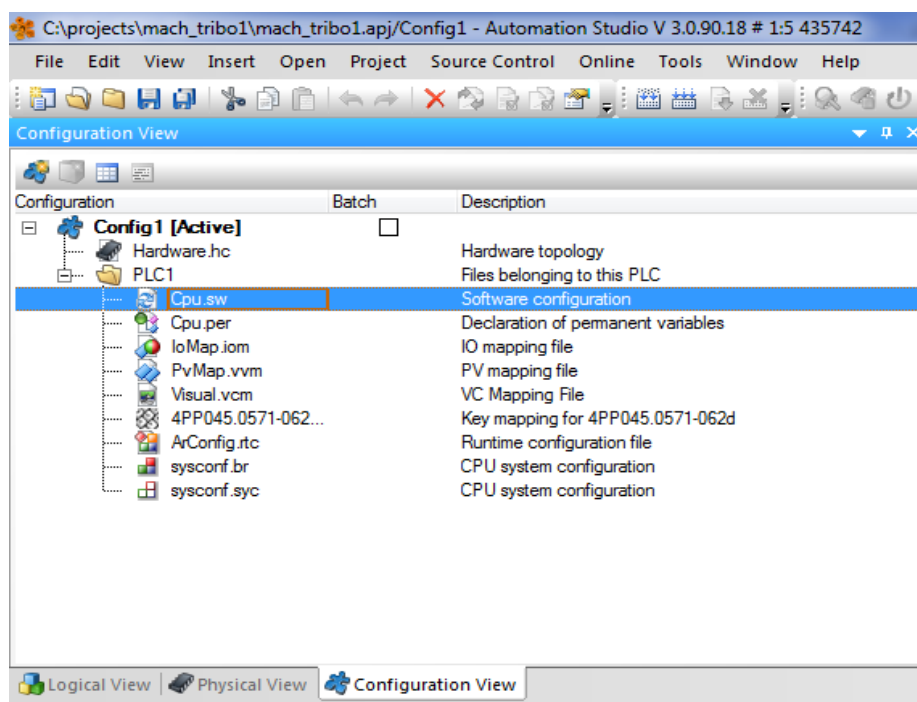


Рис. 4. Конфигурация проекта

В табл.2 и на рис. 6-8 приведены результаты триботехнических испытаний, ко-

торые позволяют сделать следующие выводы.

1. Полученные данные (табл.3) возможно рассматривать как паспорт пары трения в заданном диапазоне условий трения. По данным можно производить сравнительную оценку материалов при выборе и конструировании узлов трения.

2. При испытаниях без смазки коэффициент трения изменялся в следующем диапазоне: наименьший показали образцы Ф4К15М15 0,15–0,26; фенилона 0,18–0,25; капролона 0,20–0,25; МАС–ЗХБ 0,24–0,40; наибольший – Loctait 3472 0,5–0,7; полиуретан красный 0,66–0,87.

Испытание образца		0
Начало испытания		0
Текущее время		0
Температура образца (1)		0.0 °C
Температура (2)		0.0 °C
Циклы (кол-во оборотов)		0
Скорость, м/с		0.00
Путь трения, м		0.0
Сила трения, Н		0.00
Нагрузка на образец, Н		0.000
Козф, трения		0.00
Площадь образца, см.кв.		0.0
Давление в контакте, Н/см.кв.		0.00
Параметр pV, Нм/см.кв.сек		0.00

Рис. 5. Экран испытание образца

3. Трение в водной среде характеризовалось следующими значениями коэффициента трения в диапазоне PV 15–80 Н/см²·м/с: наименьшие значения – Ф4К15М15 0,10–0,07; полиуретаны 0,08–0,03; МАС–4УГ 0,2–0,03; МАС–ЗХБ 0,2–0,03; Loctait 3479 0,16–0,02; наибольшие – Loctait 3472 0,6–0,04; Loctait 3474 0,36–0,03.

4. Увеличение скорости скольжения с 1 до 8 м/с при работе в водной среде приводили к существенному снижению коэффициента трения для большинства исследуемых материалов (МАС, фенилон, капролон, Loctait), в тоже время при работе с маслом этого эффекта не наблюдалось – трение было стабильно низким $f_{\text{мр}} = 0,03 - 0,04$ во всем диапазоне исследуемых скоростей скольжения.

5. С ростом давления от 15 до 70 Н/см² и скорости 1м/с при трении с маслом коэффициент трения уменьшался для материалов МАС–ЗХБ, МАС–4УГ от 0,05 до 0,01, фенилон от 0,12 до 0,02, Ф4К15М15 – 0,007–0,025, Loctait 3479 от 0,05 до 0,02.

6. Из группы материалов Loctait наилучшие антифрикционные характеристики при работе в жидких средах показал Loctait 3479.

7. По износостойкости результаты материалов показаны в табл. 2 при V = 1 м/с.

Данные таблицы – позволяют сделать предварительные суждения о том, что при работе без смазки МАС–ЗХБ, Ф4К15М15, фенилон и капролон по износу на порядок лучше остальных материалов. Испытания в жидких средах не выявили особых предпочтений, потому что большинство образцов (кроме Ф4К15М15 и Loctait 3472) показали приращение массы за счет адсорбции воды и масла в пористую структуру композиционных материалов.

Далее приведены сравнительные результаты триботехнических испытаний полимерных композиционных материалов в различных средах применения: без смазки, с во-

дой, с маслом.

Таблица 2

Результаты материалов по износостойкости.

Материал	Интенсивность износа, г/м		
	без смазки	в воде	в масле
МАС-ЗХБ	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$+1,15 \cdot 10^{-6}$	$+2,58 \cdot 10^{-6}$
Ф4К15М15	$1,66 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-7}$	$2,66 \cdot 10^{-7}$
Фенилон	$1,45 \cdot 10^{-7}$	$1,67 \cdot 10^{-7}$	$+2,81 \cdot 10^{-6}$
Капролон	$5,58 \cdot 10^{-8}$	$+1,29 \cdot 10^{-6}$	$+2,35 \cdot 10^{-7}$
МАС-4УГ	$1,41 \cdot 10^{-6}$	$1,73 \cdot 10^{-7}$	$+3,7 \cdot 10^{-7}$
L3474	$1,82 \cdot 10^{-6}$	$+1,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$
L3479	$1,44 \cdot 10^{-6}$	$+3,99 \cdot 10^{-7}$	$8,36 \cdot 10^{-7}$
L3472	$3,68 \cdot 10^{-6}$	$3,67 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-6}$
ПУ Красный	$3,96 \cdot 10^{-6}$	$+6,66 \cdot 10^{-7}$	$+3,32 \cdot 10^{-8}$
ПУ Бецветный	–	$+2,0 \cdot 10^{-7}$	$+2,67 \cdot 10^{-7}$

Примечание: Знак (+) означает прирост массы исследуемого образца .

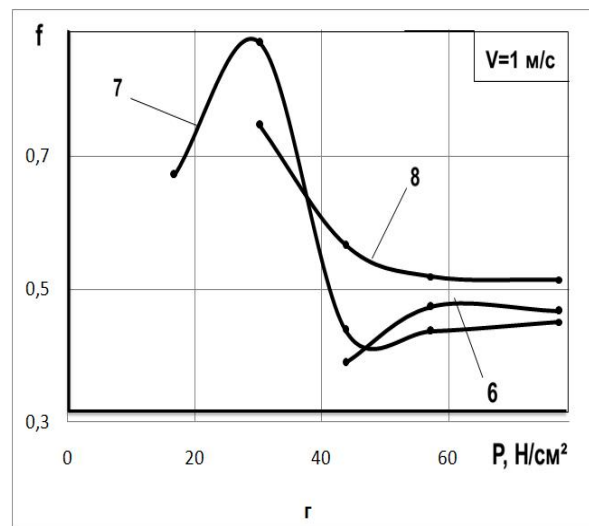
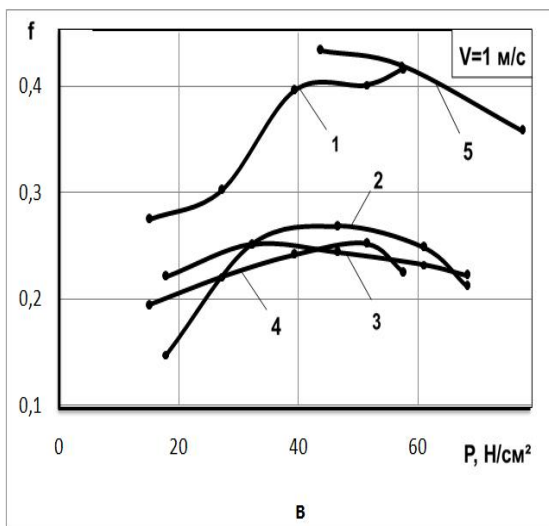
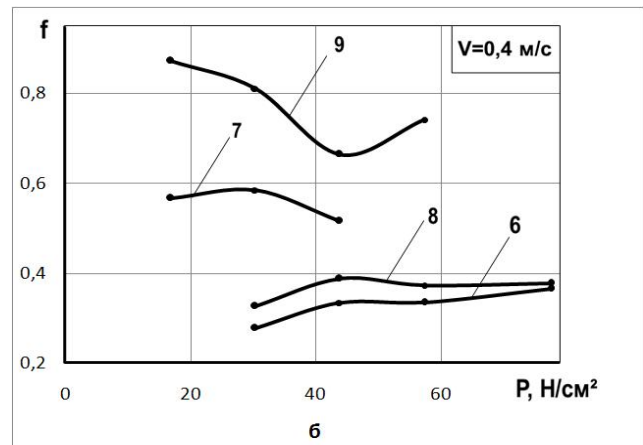
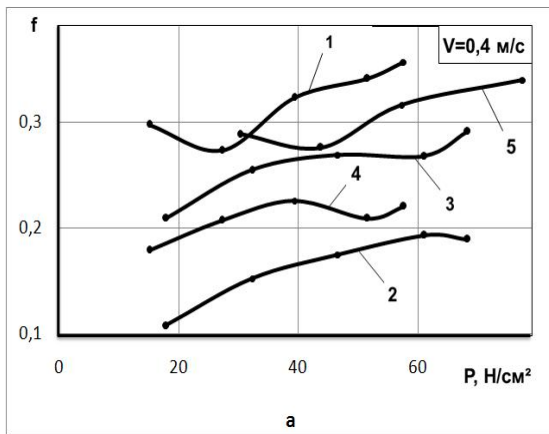


Рис. 6. Зависимость коэффициента трения, f от давления в контакте, P [Н/см²] и скорости, V [м/с]; (а), (б) – 0,4 м/с; (в), (г) – 1 м/с при работе без смазки для материалов: 1 – МАС-ЗХБ, 2 – К15М5, 3 – Фенилон, 4 – Капролон, 5 – МАС-4УГ, 6 – Loctite-3474, 7 – Loctite-3479, 8 – Loctite-3472, 9 – Полиуретан красный, 10 – Полиуретан бесцветный.

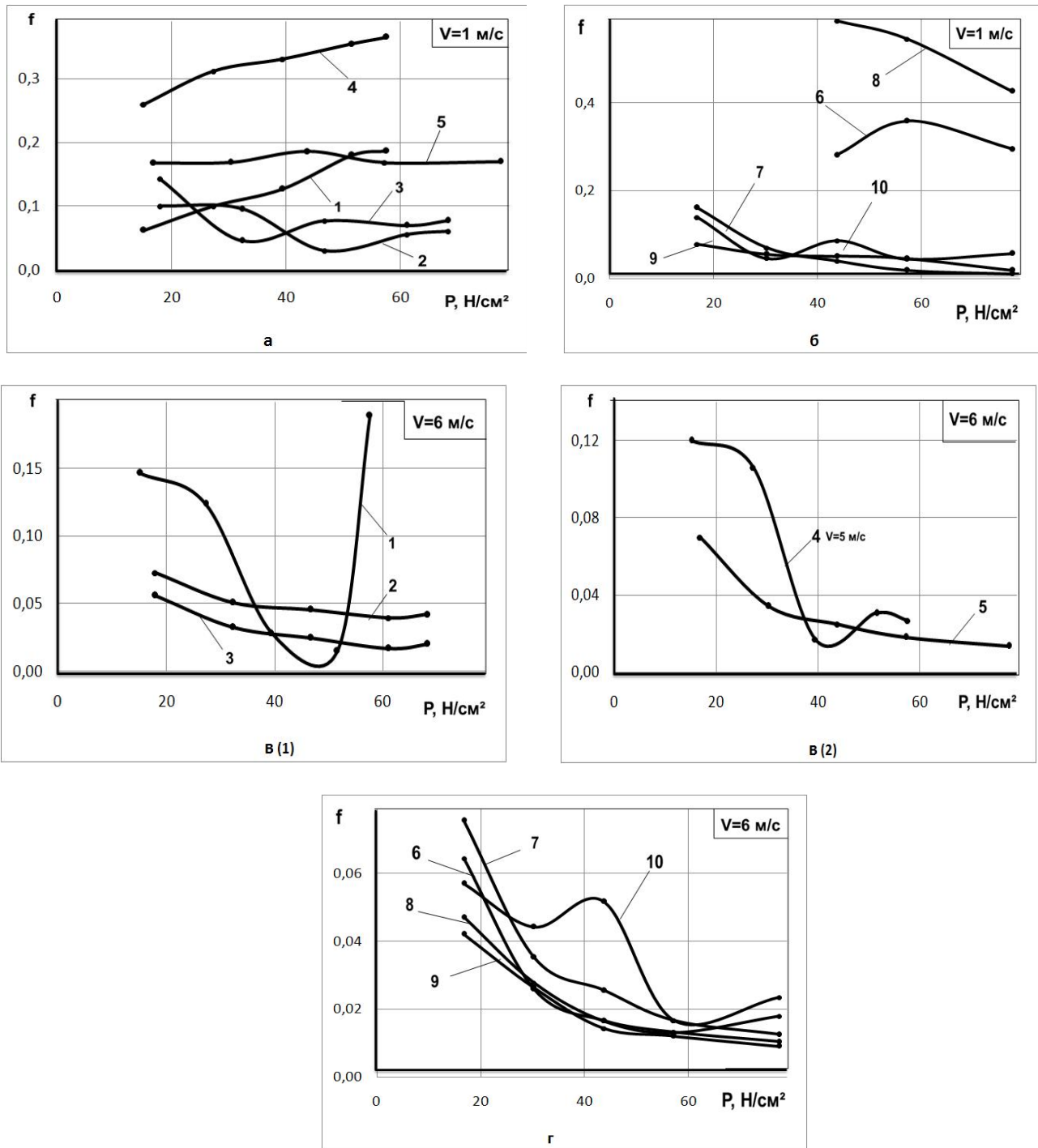


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения, f от давления в контакте, P [H/cm²] и скорости, V [м/с]; (а), (б) – 1 м/с; (в_{1,2}), (г) – 6 м/с при работе в воде для материалов: 1 – МАС-3ХБ, 2 – К15М5, 3 – Фенилон, 4 – Капролон, 5 – МАС-4УГ, 6 – Loctite-3474, 7 – Loctite-3479, 8 – Loctite-3472, 9 – Полиуретан красный, 10 – Полиуретан бесцветный.

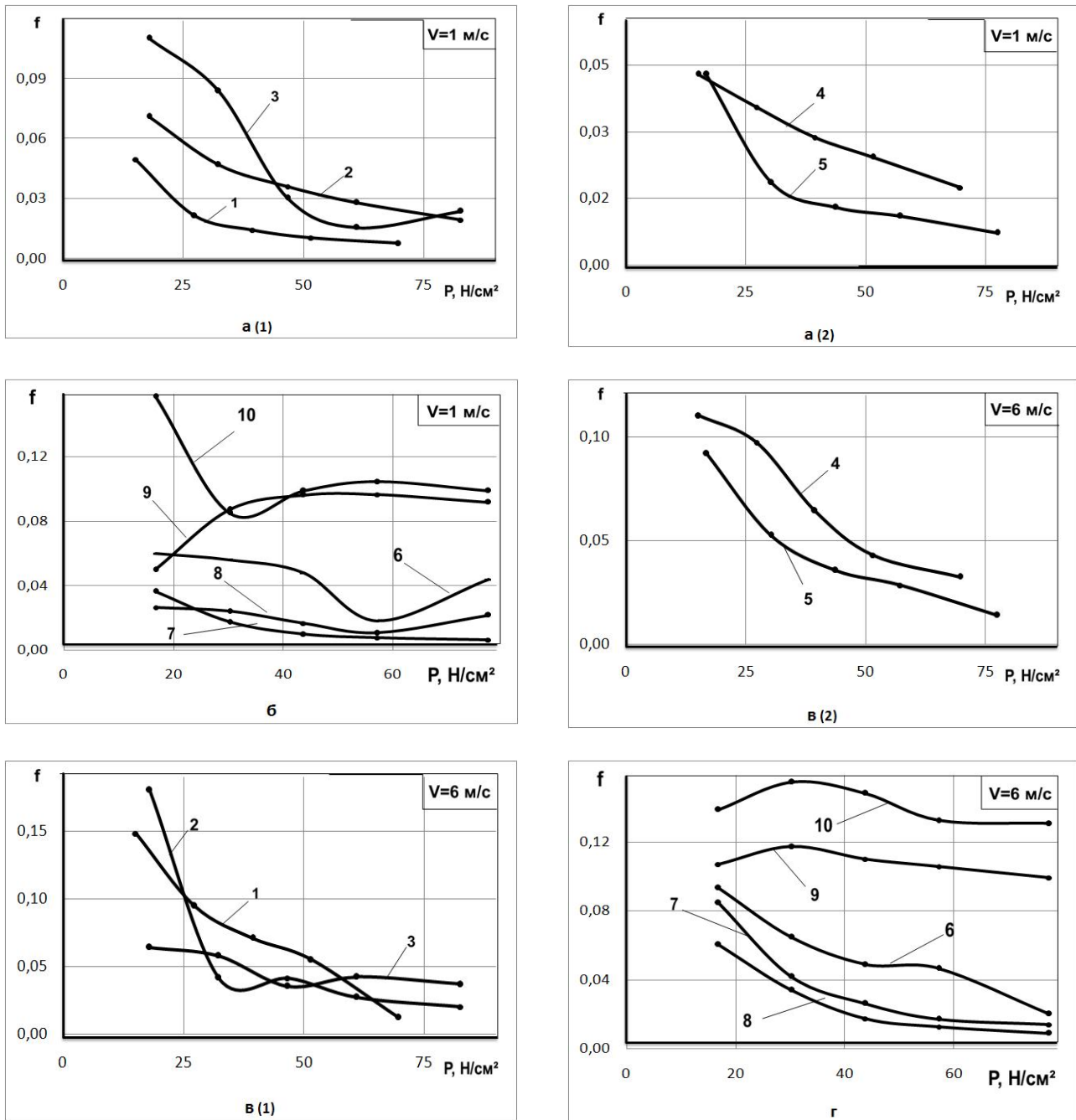


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения, f от давления в контакте, P [H/cm²] и скорости, V [м/с]; (а_{1,2}), (б) – 1 м/с; (в_{1,2}), (г) – 6 м/с при работе в масле индустриальном для материалов: 1 – МАС-3ХБ, 2 – К15М5, 3 – Фенилон, 4 – Капролон, 5 – МАС-4УГ, 6 – Loctite-3474, 7 – Loctite-3479, 8 – Loctite-3472, 9 – Полиуретанкрасный, 10 – Полиуретан бесцветный.

Таблица 3

Результаты триботехнических испытаний в период 30.01.13 - 30.06.13. Материал:
Loctite-3474, рабочая среда - масло индустриальное

Стенд МФТ. Рабочая среда - масло индустриальное						
Образец материала: Loctite-3474; площадь образца: 1,44 см ²						
Суммарное количество циклов - 83765, суммарный путь трения - 54998 м						
	Нагрузка на рычаг, г	240	640	1040	1440	2040
	Нагрузка на образец, Н	24,2	43,6	63,0	82,5	111,6
	Период испытаний, мин	10	10	10	10	10
экс. 1	Масса образца: m1=1,8619 г; m2=1,8726 г; Δm= -0,0107 г.					
	Σциклы - 1831; Σпуть трения - 1202 м; i= -8,9*10 ⁻⁶ г/м					
	Скорость, м/с	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Циклы	360	360	368	367	376
	Давление в контакте Н/см ²	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Параметр pV, Н/см ² *м/сек	6,72	12,12	17,51	22,91	31,00
	Сила трения, Н	1,63	3,43	1,94	3,23	6,13
	Коэффициент трения	0,07	0,08	0,03	0,04	0,05
	Температура образца	40,5	38,2	36,5	35,3	34,6
экс. 2	Масса образца: m1=1,8726 г; m2=1,8711 г; Δm= 0,0015 г.					
	Σциклы - 4571; Σпуть трения - 3001 м; i= 5*10 ⁻⁷ г/м					
	Скорость, м/с	1	1	1	1	1
	Циклы	910	911	955	874	921
	Давление в контакте Н/см ²	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Параметр pV, Н/см ² *м/сек	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Сила трения, Н	1,45	2,45	3,02	1,49	4,88
	Коэффициент трения	0,06	0,06	0,05	0,02	0,04
	Температура образца	32,2	31,7	31,5	31,8	32,6
экс. 3	Масса образца: m1=1,8711 г; m2=1,8713 г; Δm= -0,0002 г.					
	Σциклы - 13749; Σпуть трения - 9027 м; i= -2,22*10 ⁻⁸ г/м					
	Скорость, м/с	3	3	3	3	3
	Циклы	2775	2680	2766	2719	2809
	Давление в контакте Н/см ²	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Параметр pV, Н/см ² *м/сек	50,42	90,88	131,34	171,79	232,48
	Сила трения, Н	1,56	1,74	2,04	2,65	1,34
	Коэффициент трения	0,06	0,04	0,03	0,03	0,01
	Температура образца	31,2	31,9	32,9	34,2	36,6
экс. 4	Масса образца: m1=1,8713 г; m2=1,8646 г; Δm= 0,0067 г.					
	Σциклы - 27471; Σпуть трения - 18037 м; i= 3,71*10 ⁻⁷ г/м					
	Скорость, м/с	6	6	6	6	6
	Циклы	5394	5453	5488	5505	5631
	Давление в контакте Н/см ²	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Параметр pV, Н/см ² *м/сек	100,846	181,759	262,671	343,584	464,953
	Сила трения, Н	2,26	2,82	3,08	3,84	2,24
	Коэффициент трения	0,09	0,06	0,05	0,05	0,02
	Температура образца	36,6	38,8	40,6	43,2	47,1

Окончание табл. 3

экс. 5	Масса образца: $m_1=1,8646$ г; $m_2=1,8601$ г; $\Delta m= 0,0045$ г.					
	Эциклы - 36143; Шпуть трения - 23731 м; $i= 1,9 \cdot 10^{-7}$ г/м					
	Скорость , м/с	8	8	8	8	8
	Циклы	6838	7161	7421	7202	7521
	Давление в контакте Н/см ²	16,81	30,29	43,78	57,26	77,49
	Параметр $pV, \text{Н/см}^2 \cdot \text{м/сек}$	134,461	242,345	350,229	458,112	619,938
	Сила трения, Н	2,21	2,41	2,46	2,81	1,22
	Коэффициент трения	0,09	0,06	0,04	0,03	0,01
	Температура образца	43,5	47,1	47,5	49,8	51,9

Список литературы

- [1] Иванов В.А., Богачев А.П., Приходько В.Т. Разработка металлофторопластовых покрытий для подшипников трения // Проблемы повышения технического уровня, долговечности и качества выпускаемой продукции машиностроения. Тез.докл. науч.-техн. конф. – 1978. – С, 99-101.
- [2] Иванов В.А., РиХосен Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпокси-дофторопластов для триботехнических систем // ХГТУ.– 2000.
- [3] Иванов В.А., Алянчиков В.Н., Богачев А.П., Андреев В.А. Подшипники для лесотранспортера // Лесная промышленность. – 1982.-N10. – С.30.
- [4] Иванов В.А. Самосмазывающиеся подшипники для высоких нагрузок // Антифрикционные самосмазывающие пластмассы и их применение в промышленности. Материалы семинара. М., МДНТП.–1984. С. 134-139.
- [5] Иванов В.А. Совершенствование материалов и конструкций узлов лесопромышленного оборудования. Обзорн. информ. М., ВНИПИЭИ леспром.–1987. Вып.2.
- [6] Иванов В.А., Захарычев С.П. Основы технологии эпокси-дофторопластов для самосмазывающихся подшипников скольжения // Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та.–2012. С.318.
- [7] Иванов В.А., Гончаров С.В., Якименко Н.А., Юденко Г.В. Триботехнические испытания антифрикционного материала МАС-4УГ // Трение и смазка в машинах и механизмах.– 2013. N4. С. 9-13.
- [8] Иванов В.А., Захарычев С.П. Разработка установки радиальной намотки для изготовления армированных полимерных композиционных материалов. Вестник ТОГУ.–2008.- N1(8). – С. 101-110.
- [9] Иванов В.А., Гончаров С.В. Получение градиентных полимерных композиционных материалов антифрикционного назначения на основе эпоксидных смол методом центробежного формирования // Упрочняющие технологии и покрытия.–2011. N3 (75). С. 3-7.

E-mail: ya-84@list.ru