

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ¹

С.В. Шигин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приведены результаты исследования демпфирующей способности тяжело нагруженного контакта в упорном подшипнике шарошек буровых долот при исполнении промежуточных элементов упорного подшипника из композиционных материалов.

Ключевые слова: упорный подшипник скольжения, композиционные материалы, динамические испытания, демпфирование, логарифмический декремент колебаний, жесткость.

В разработанной конструкции упорных подшипников скольжения шарошечных буровых долот [1, 4, 9] и др. уступ цапфы 1 взаимодействует с опорной поверхностью шарошки 2 через промежуточную свободно сидящую шайбу 3 (рис. 1).

В наиболее результативных разработках упорных подшипников и технических способах повышения работоспособности буровых долот [1...6] и др. предложено применение в опорах износостойких марок сталей, бронзовых шайб, смазок с высокой адгезионной способностью, создана система подачи смазки, устройство смазочных каналов, подобраны антифрикционные покрытия и др. Однако эти технические усовершенствования до настоящего времени не обеспечивали необходимую долговечность упорных подшипников долот. Работоспособность 60 – 70 % шарошечных долот прекращается в результате выхода из строя опор, а не режущих зубков.

Характерные отказы при эксплуатации наблюдаются в виде схватывания, задигов и заклинивания между упорным буртом цапфы, промежуточной шайбой, втулкой и опорной поверхностью шарошки [1, 4] и др., что свидетельствует о работе опор в режиме смешанной смазки при воздействии высоких механических и тепловых нагрузок.

В практике совершенствования опор в долотном производстве, например на ОАО «Волгабурмаш», лучшие результаты получены при выполнении упорного подшипника скольжения с установкой промежуточной свободно сидящей шайбы, изготавливаемой из бронзы БрБ2, и нанесении на бронзу серебряного покрытия при одновременном применении высокоэффективных консистентных смазок, например американской смазки JBL-713R [1].

Изучение работоспособности и режима трения в упорных подшипниках скольжения показало, что эти сопряжения нагружаются на пределе своих возможностей, что особенно резко проявляется при недостатке смазочного материала.

Например, шарошечные долота диаметра 46...508 мм работают при осевых нагрузках больше 200 кН, частоте вращения 0,7...20 с⁻¹, в абразивосодержащей среде, при значительной динамичности приложения нагрузки.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ № 218 от 09.04.2010.

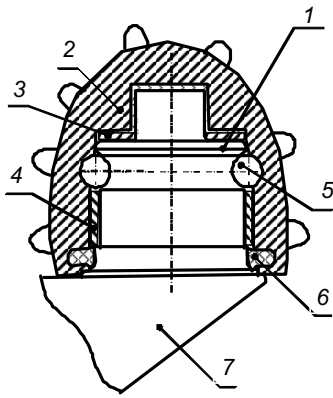


Рис. 1. Принятая компоновка опоры шарошек буровых долот со свободно сидящей промежуточной втулкой и шайбой: 1 – цапфа; 2 – шарошка; 3 – промежуточная свободно сидящая упорная шайба; 4 – свободно сидящая втулка осевого подшипника; 5 – шариковый замок; 6 – герметизирующее уплотнение; 7 – опорная лапа шарошки

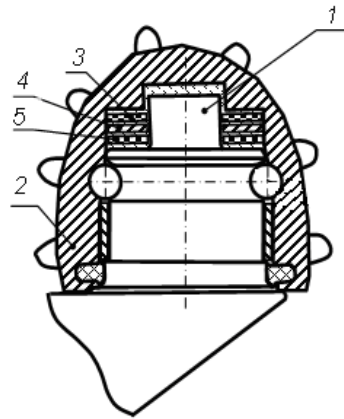


Рис. 2. Компоновка комплексного упорного подшипника: 1 – цапфа; 2 – шарошка; 3 – верхняя шайба из металлофторопласта; 4 – стальная шайба; 5 – нижняя шайба из металлофторопласта

Коэффициент динамичности шарошечных долот составляет 1.3...1.5, всестороннее гидростатическое давление в контакте достигает 6000...8000 мПа и более, крутящий момент – 2500 Н·м.

В связи с отмеченным актуальной технической задачей является изучение динамики упорных подшипников шарошек буровых долот, поиск, всестороннее исследование и разработка новых технических решений [7, 8, 9] и др. для снижения динамичности нагрузки и повышения на этой основе работоспособности и долговечности опор.

Для реализации намеченного поиска более эффективного технического решения был разработан ряд технических мероприятий: проведение экспериментальной оценки нагрузочной и демпфирующей способности упорного подшипника в базовом исполнении при варьировании марок смазки; применение двух бронзовых шайб с серебряным покрытием; применение дополнительной (третьей) стальной шайбы при установке между двумя бронзовыми; применение шайб из металлофторопласта и композиционной опоры из двух фторопластовых шайб, разделенных стальной шайбой (рис. 2).

В качестве первого мероприятия была проведена экспериментальная оценка предельных нагрузок упорного подшипника в базовом исполнении ОАО «Волгабурмаш» (с промежуточной шайбой из бронзы БрБ2 с серебряным покрытием) при варьировании 12 смазочных композиций.

Результаты оценки предельной нагрузки представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, наиболее эффективные смазки существенно повышают работоспособность опор.

В последующих испытаниях упорного подшипника оценивали контактную жесткость и демпфирование в стыке в зависимости от конструктивного исполнения и применяемой марки смазки.

Для реализации таких испытаний были разработаны методики и средства испытания – устройства, моделирующие упорный подшипник, режимы его нагружения и подобраны необходимые мерительные приборы.

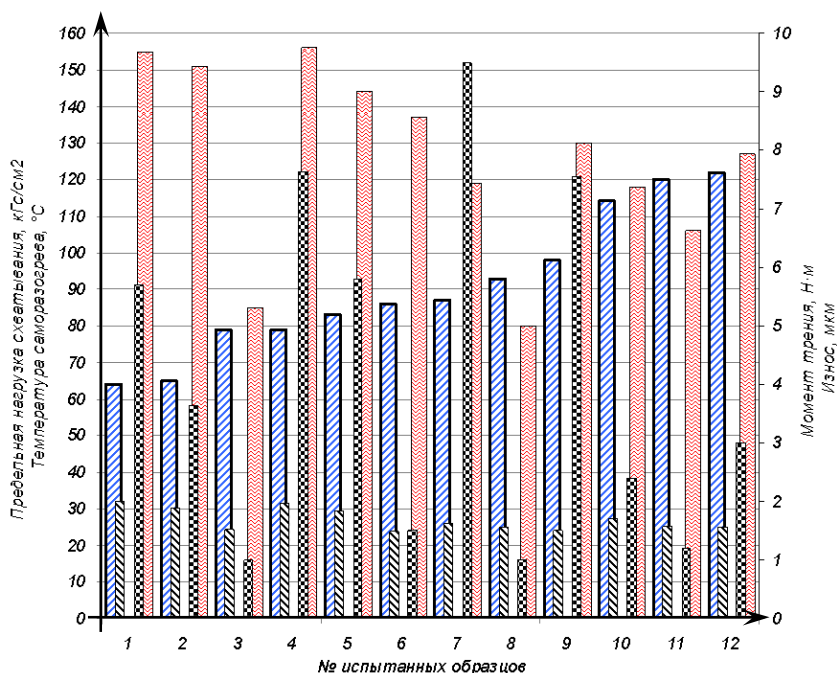


Рис. 3. Результаты оценки предельной нагрузки схватывания в упорных подшипниках с промежуточной шайбой при испытаниях на стенде СамГТУ:

■ предельная нагрузка схватывания, кг/см²; ■ момент трения, н·м; ■ температура разогрева, °C; ■ износ, мкм; 1 – Томфлон ЭПЦ-10; 2 – Томфлон ЭПЦ-10+ПМС-60000; 3 – Томфлон ССВ-250; 4 – Долотол МАУ+ПМС-60000; 5 – JBL-713+ ПМС-60000; 6 – Томфлон СК250; 7 – JBL-713; 8 – Томфлон ССВ-250+ПМС-60000; 9 – Долотол МАУ; 10 – две опорных шайбы с Томфлон ССВ-250; 11 – Томфлон ССВ-250+MicroCeramic; 12 – Томфлон ЭПЦ-10+MicroCeramic

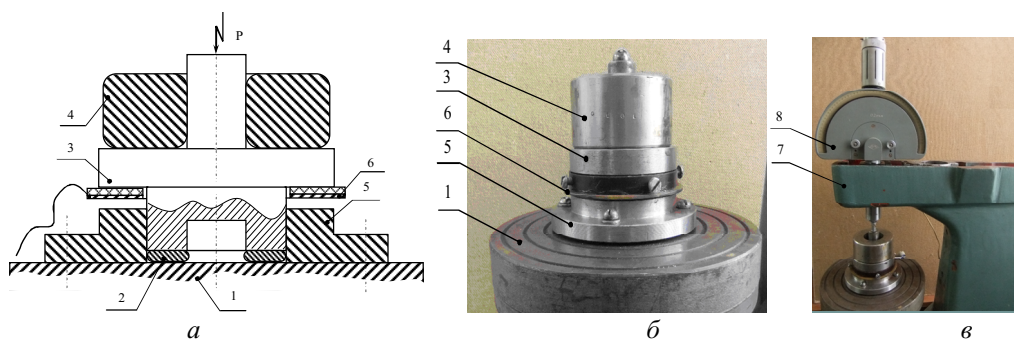
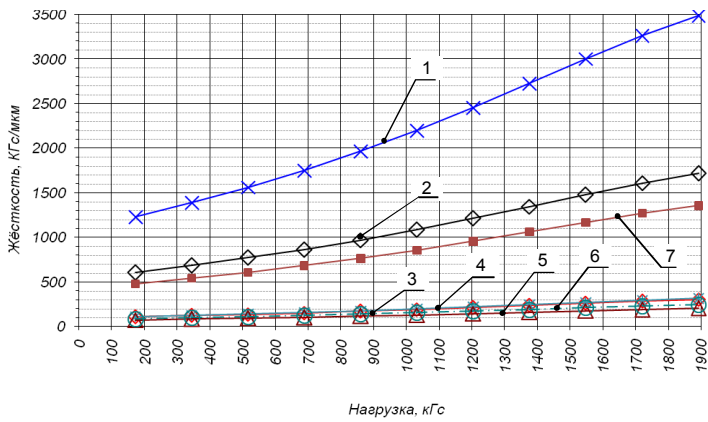
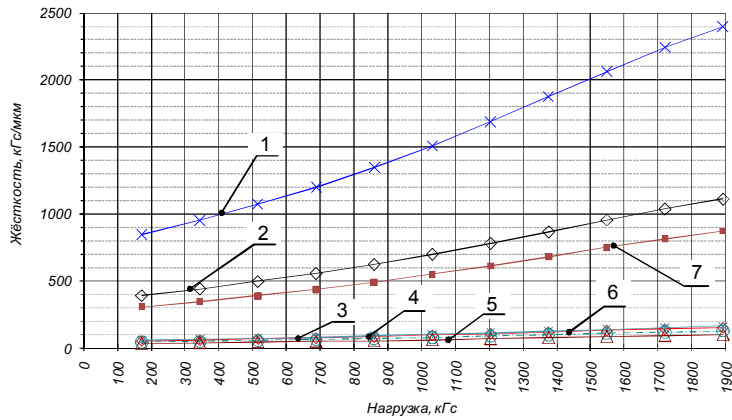


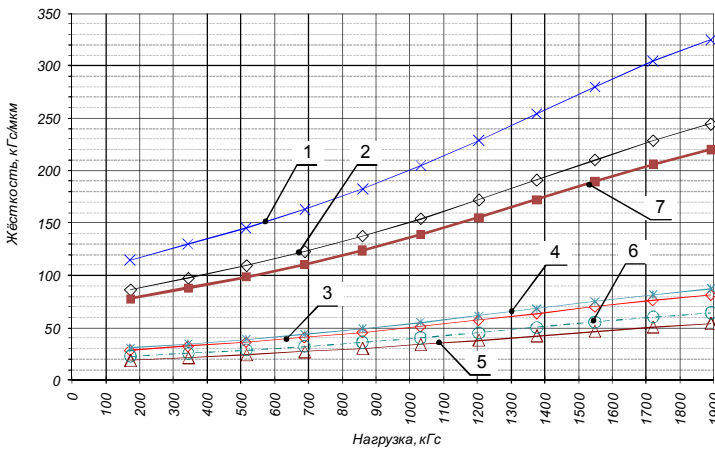
Рис. 4. Установки для оценки динамических характеристик в торцевом упорном подшипнике скольжения шарошки: а – схема устройства для измерения демпфирования и жесткости стыка; б – фотография устройства для измерения демпфирования стыка; в – фотография устройства для измерения жесткости стыка с помощью микроиндентора 8; 1 – опорная поверхность; 2 – промежуточная шайба; 3 – образец верхней упорной поверхности; 4 – дополнительный груз; 5 – направляющая втулка; 6 – емкостной датчик; 7 – опорная станина



а



б



в

Рис. 5. Зависимость контактной жёсткости упорного подшипника:

а – без промежуточной шайбы; б – с промежуточной шайбой из бронзы БрБ2; в – с трехслойным металлофторопластовым промежуточным элементом; 1 – без смазки; 2 – со смазкой Циатим-221; 3 – со смазкой JBL-713; 4 – со смазкой Долотол М-АУ; 5 – со смазкой ОАО «СвНИИП» № 02/С от 12.03.2012; 6 – со смазкой ОАО «СвНИИП» № 79С-ЗД13 от 12.03.2012; 7 – со смазкой Циатим-221 с присадкой частиц детонационных наноалмазов ИХХТ СО РАН

Исследование жесткости упорного подшипника выполняли на устройстве, показанном на рис. 4, в. При испытаниях на испытываемый модельный упорный узел подавали нагрузку P и с помощью микрокатера δ (рис. 4, в) производили измерение сближения в стыке упорного подшипника при каждом значении приложенной нагрузки.

Результаты оценки контактной жесткости в базовой конструкции шарошки (с промежуточной шайбой) приведены на рис. 5.

При оценке демпфирования в упорных подшипниках шарошек (рис. 4, а) производили статическое нагружение грузом 4, а затем ударом по центральному штоку образца 3 возбуждали собственные затухающие колебания в стыке (по оси шарошки, рис. 5), по которым оценивали характеристику демпфирования – логарифмический декремент колебаний (1).

Амплитуду колебания стыка измеряли с помощью емкостного датчика 6, подключенного к разработанному усилителю сигнала. После АЦП-преобразования в устройстве Е-14-140МД (ООО «Л Кард») сигнал передается в компьютер по каналу USB и производится его обработка.

Для приема, записи и анализа вибросигналов с емкостного датчика использовали программу PowerGraph 3.3 Professional, в которой оценку логарифмического декремента колебаний выполняли по известной методике [10, 11, 12 и др.]:

$$\delta = \ln(A_n/A_{n+1}), \quad (1)$$

где A_n и A_{n+1} – соседние амплитуды затухающих колебаний из анализируемой вибrogramмы (рис. 6).

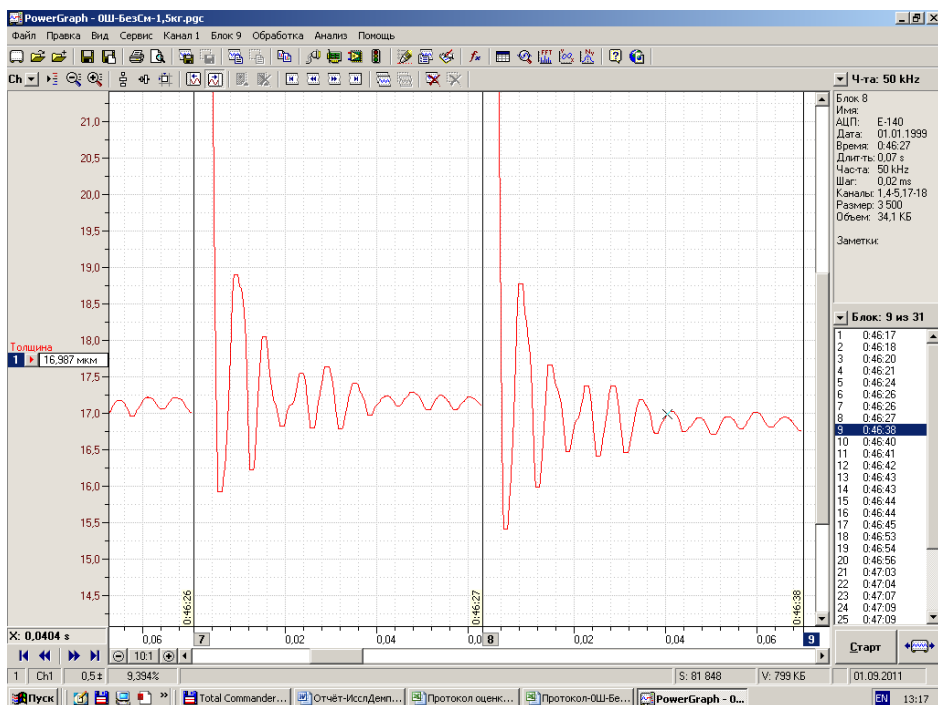


Рис. 6. Вид рабочего экрана программы PowerGraph 3.3 Professional при записи затухающих колебаний в исследуемой опоре

Результаты оценки демпфирования, приведенные в ряде конструктивных исполнений упорного подшипника шарошек буровых долот, показаны на рис. 7 и в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки демпфирования в стыке торцевого упорного подшипника скольжения

| № опыта | Материал промежуточного элемента | Смазка | Удельная статическая нагрузка, кгс/см ² | | | Ср. повышение в сравнении с сухим стыком, % |
|---------|--|----------------------------|--|------|------|---|
| | | | 0,22 | 0,65 | 1,08 | |
| | | | Логарифмический декремент колебаний, $\delta = \ln(A_n/A_{n+1})$ | | | |
| 1 | Стык без шайбы | Без смазки | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0 |
| 2 | | Циатим-221 | 0,44 | 0,39 | 0,31 | 297 |
| 3 | | JBL-713R | 0,48 | 0,45 | 0,41 | 367 |
| 4 | Два стыка на шайбе из БрБ2 | Без смазки | 0,22 | 0,18 | 0,18 | 100 |
| 5 | | Циатим-221 | 0,57 | 0,56 | 0,52 | 475 |
| 6 | | JBL-713R | 0,61 | 0,59 | 0,56 | 513 |
| 7 | Четыре стыка на шайбе из БрБ2 | Без смазки | 0,28 | 0,24 | 0,22 | 158 |
| 8 | | Циатим-221 | 0,83 | 0,79 | 0,77 | 733 |
| 9 | | JBL-713R | 0,89 | 0,87 | 0,81 | 795 |
| 10 | Десять сухих стыков на 9 шайбах | Без смазки | 0,41 | 0,35 | 0,22 | 240 |
| 11 | Стальная гладкая шайба между 2 металлофторопластовых | JBL-713 + подслой ПМС60000 | 1,12 | 1,08 | 1,04 | 1029 |
| 12 | Две пластины из металлофторопласта | JBL-713 + 5 % присадки 2 | 0,93 | 0,89 | 0,87 | 837 |

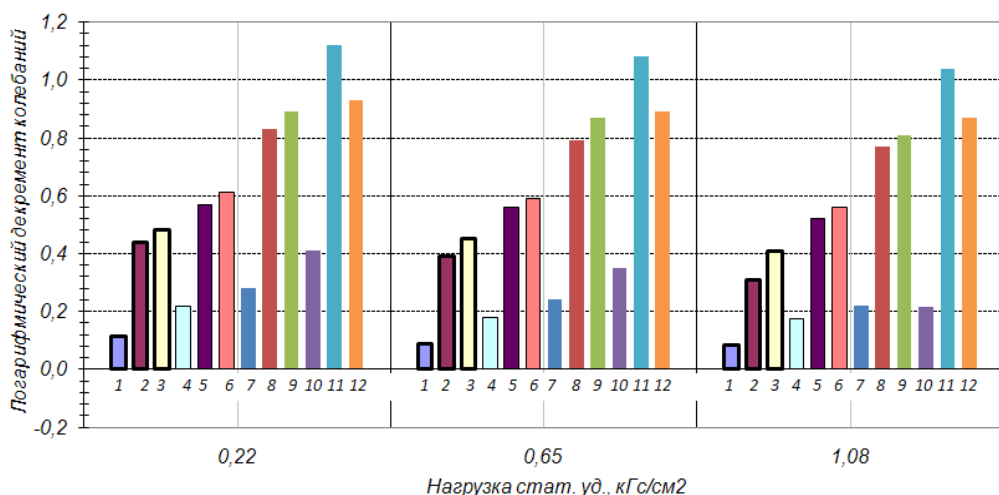


Рис. 7. Результаты оценки демпфирования в стыке торцевого упорного подшипника скольжения: № опыта – по табл. 1

Графическая интерпретация всех полученных результатов, характеризующих роль демпфирования в упорном подшипнике, показана на рис. 8 и в табл. 2.

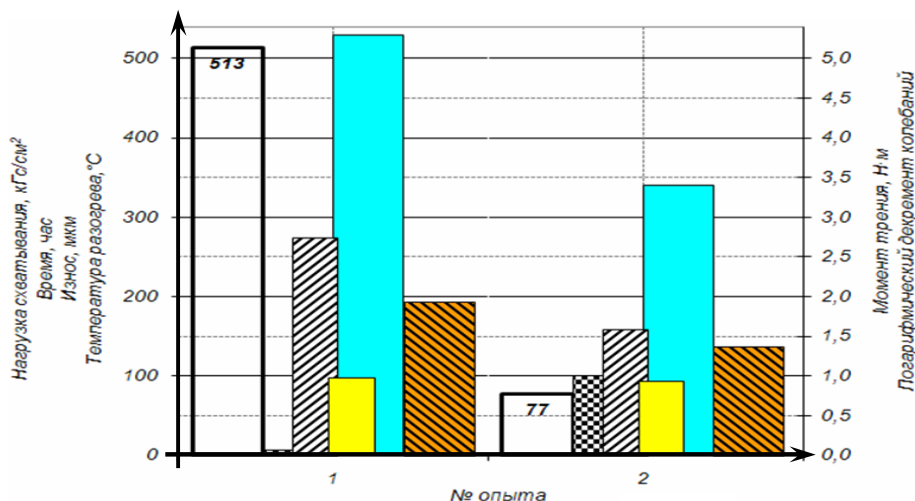


Рис. 8. Результаты длительных испытаний промежуточных элементов опор модели долота R866 из промышленных композиционных материалов:

■ нагрузка схватывания, кгс/см²; ■ износ, мкм; ■ время наработки, час; ■ момент трения, Н·м; ■ температура разогрева, °С; ■ логарифмический декремент колебаний; 1 – со стальной гладкой шайбой между двух металлофторопластовых и с подслоем ПМС60000; 2 – с двумя металлофторопластовыми шайбами и с 5 % присадки 2, № опыта по табл. 2

Таблица 2

Результаты испытаний промежуточных элементов опор из промышленных металлополимерных композиционных материалов

| № опыта | Материал промежуточного элемента | Декремент колебаний δ | Смазка | Нагрузка схватывания, кгс/см ² | Время наработки, час | Износ, мкм | Момент трения, Н·м | Коэффициент трения | Температура разогрева, °С |
|---------|--|------------------------------|----------------------------|---|----------------------|------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | Стальная гладкая шайба между 2 металлофторопластовых | 1,12 | JBL-713 + подслоя ПМС60000 | 513 | 6 | – | 2,74 | 0,024 | 192 |
| 2 | 2 шайбы из металлофторопласта | 0,93 | JBL-713 + 5 % присадки 2 | 77 | 100 | 340 | 1,58 | 0,093 | 137 |

Выводы

При обосновании конструктивных параметров упорного подшипника шарошек буровых долот целесообразно оптимизировать его контактные характеристики – контактную жесткость и контактное демпфирование за счет выбора материала промежуточных шайб, их пакета и подбора смазочного материала.

Наибольшее значение имеет обеспечение высокой демпфирующей способности стык, понижающий динамическую составляющую нагрузки, что может быть реализовано конструктивным путем (применение пакета шайб) и подбором смазок с высокими поглощающими характеристиками.

Как показала экспериментальная проверка, наибольший декремент затухания получен при применении 3-слойного промежуточного элемента на основе металлофторопласта при смазке JBL-713 с подслоем кремнийорганической жидкости ПМС-60000.

В сравнении с базовым вариантом (промежуточная шайба из БрБ2) логарифмический декремент затухания для стыка упорного подшипника скольжения с одной промежуточной шайбой из БрБ2 составил $\delta = 0,61$ (табл. 1, опыт № 6), а для 3-слойного промежуточного элемента со смазкой (JBL-713 + подслоя ПМС60000) $\delta = 1,12$ (табл. 1, опыт № 11).

По данным результатов трибоиспытаний торцевого упорного подшипника скольжения модели долота R866 с консистентными смазками JBL-713 (фирмы Tomlin) и Циатим-221 при добавлении присадок с кластерными наноалмазными порошками ИХХТ СО РАН и полиметилсилоксановой жидкости ПМС-60000 наилучшие результаты (по предельной нагрузке схватывания) получены на 3-слойном промежуточном элементе со смазкой (JBL-713 + подслоя ПМС60000, табл. 2, опыт № 1). Логарифмический декремент затухания при этом составил $\delta = 1,12$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов Р.М.* Методы повышения эффективности разрушения горных пород при бурении скважин шарошечными долотами: Дисс. ... д.т.н. – Самара: СамГТУ, 2001. – 297 с.
2. *Семёнов А.П., Савицкий Ю.Э.* Металлофторопластовые подшипники. – М.: Машиностроение, 1976. – 192 с.: ил. УДК 62-233.21/.22; 621.822.5; 6П5.3. – С. 30.
3. *Харламов В.В., Павлышко С.В.* Смешанная смазка в тяжелонагруженных трибосопряжениях скольжения. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 363 с.: ил. ISBN 5-7691-1279-4. ББК 3441, М 38, УДК621.891+539...375.6.
4. *Богомолов Р.М., Громаковский Д.Г., Крылов С.М., Шигин С.В., Ибатуллин И.Д.* Исследование мультислойной композиции, содержащей частицы фторированного графита // Мат-лы V Международного симпозиума «Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах» (ФФС-2008). Республика Беларусь. – Минск: Изд-во Института экономики НАН Беларуси, 2008. – С. 47.
5. *Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф.* Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. – М.: Машиностроение, 2005. – 240 с.: ил. ISBN 5-217-03288-X. УДК621.763; ББК 30.36; К63.
6. *Рядченко Г.В.* Триботехнические свойства эластомеров, модифицированных антифрикционными волокнами. Специальность 05.02.04. – Трение и износ в машинах: Автореф. дисс. ... к.т.н. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2003. – 21 с.
7. *Селютин Г.Е., Пузырь А.П., Бондарь В.С., Ворошилов В.А., Михлин Ю.Л., Королькова И.В., Громаковский Д.Г.* Применение модифицированных наноалмазов в смазочной композиции // Сб. IV Международного симпозиума по триботехнике «ТРАНСТРИБО 2010». – 2010. – С. 278-285.
8. *Громаковский Д.Г., Кудюров Л.В., Шигин С.В.* О механизме диссипации в ленточном амортизаторе с угловым расположением пластин // Сб. трудов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин». Т. 1. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 320-324.
9. Патент РФ. Демпфирующее устройство для надбуксового подвешивания / *Громаковский Д.Г., Пономарев Ю.К., Шигин С.В.* и др. № 60160, опубл. 10.01.07.
10. *Овчинников И.Н.* Виброиспытания, диагностика и прогнозирование усталостного разрушения. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 128 с.: ил. УДК 539.3; 620.178.3, ББК 22.213, О-35.
11. *Пановко Я.Г., Губанова И.И.* Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки // Под ред. И.К. Снитко. – М.: Наука, 1967. – 420 с.: ил. УДК 539.30, П16.

12. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов: Справочник. – Киев: Наукова думка, 1971. – 376 с. ил. 606 (083). ПЗ4. УДК 534.282; 539.67; 620.17.

Статья поступила в редакцию 9 ноября 2012 г.

DAMPING CAPACITY RESEARCH OF THE PERSISTENT BEARING IN CASE OF THE INTERMEDIATE ELEMENTS FROM COMPOSITION MATERIALS ARE ADDED

S.V. Shigin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The research results of damping capacity of heavy-loaded contact in the persistent bearing of boring chisels rolling cutters in case of the intermediate elements of the persistent bearing are made from composition materials are given.

Keywords: *thrust bearing, composite materials, dynamic testing, damping, logarithmic decrement, rigidity.*