

УДК 62-233.21

DOI:10.30987/article_5d10851f9915c2.59892204

Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов, Е.В. Шевелева

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены схемы и способы формирования антифрикционных вкладышей подшипников скольжения с использованием модифицированной древесины и вводимых в нее металлических оптимизирующих фаз. Предложены теплоаккумулирующие наполнители, выполненные в виде капсул, позволяющие улучшить триботехнические характеристики композиционных материалов. Рассмотрены возможности применения новых свертных древесно-металлических вкладышей, позволяющих

увеличить прочность, износостойкость и теплоотводящую способность подшипников скольжения, эксплуатируемых в условиях литейного производства.

Ключевые слова: антифрикционные материалы, композиционные материалы, теплоаккумулирующие материалы, подшипники скольжения, износостойкость, древесно-металлические вкладыши.

G.A. Pilyushina, E.A. Pamfilov, E.V. Shevelyova

REINFORCED COMPOSITE SLIDING BEARINGS

The aim of the work is a design substantiation of sliding bearings with wedges made of new antifriction reinforced wood-metal materials having increased tribo-technical properties ensuring potentialities for their industrial use widening.

The wear investigation of the materials offered was carried out according to the procedure providing for an abrasive impact at that besides wear-resistance the thermo-physical characteristics of samples under analysis were assessed. As a result of the investigation there was offered a structure of anti-friction materials combining in them modified wood and a metal filling agent made of different antifriction materials or special capsules filled with fusible materials and also wedges

made by means of a joint coiling of a metal band or an element as tensile anti-friction springs and sized bands of veneer.

The offered reinforced composite sliding bearings allow ensuring higher mechanical and tribo-technical characteristics to a considerable extent, optimizing a thermal working mode of sliding bearing wedges, increasing considerably their manufacturability and widening a sphere of industrial use by means of rational combining different wood types and metal composite constituents.

Key words: antifriction materials, composites, heat storage materials, sliding bearings, wear-resistance, wood-metal wedges.

Введение

Для многих машин актуальной задачей является увеличение надежности триботехнических узлов, включающих подшипники скольжения. Эта задача может быть решена за счет использования более эффективных антифрикционных материалов, обладающих требуемой износостойкостью, низким значением коэффициента трения, необходимыми теплофизическими и демпфирующими свойствами.

Анализ возможностей создания новых антифрикционных материалов показал, что целесообразным является применение в конструкциях подшипниковых узлов материалов, выполненных на основе модифицированной древесины и объединяющих в своей структуре элементы металлического наполнителя, что позволяет обеспечить высокие триботехнические характеристики. Положительной особенностью таких антифрикционных материалов

является возможность использования при их эксплуатации в качестве смазочного материала водных сред, которые во многих случаях обеспечивают работоспособность, не меньшую чем при смазывании минеральными и синтетическими маслами. Кроме того, древесно-металлические материалы легче и дешевле, чем сплавы цветных металлов, преимущественно используемые для изготовления вкладышей подшипников скольжения.

Однако полимерные материалы обладают таким недостатком, как малая теплопроводность, что негативно сказывается на эксплуатационных параметрах подшипников и нарушает стабильную работу триботехнических узлов. Также вследствие недостаточного теплоотвода из зоны трения зачастую происходит термическая деградация используемого полимера, приво-

дящая к разрушению функциональных поверхностных слоев и выходу узла трения из строя.

Поэтому актуальной является разработка новых способов оптимизации триботехнических характеристик антифрикционных вкладышей подшипников скольжения, выполненных из модифицированной древесины, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенных температур, путем введения в нее металлической

Методика исследований

Объектом исследования являются вкладыши подшипников скольжения из армированных композиционных древесно-металлических материалов и конструкции подшипников скольжения с данными вкладышами. Исследование изнашивания предложенных материалов выполнялось по методике, предусматривающей абразивное воздействие [1].

При этом помимо сопротивляемости изнашиванию оценивались теплофизические характеристики исследуемых образцов [2]. Согласно этой методике, исследуемый образец устанавливался на контактную теплоотдающую пластину, нагреваемую до температуры 120 °С. На противоположной стороне исследуемого образца размещалась теплоприемная пластина.

Концепция предлагаемых решений и результаты исследований

Улучшение триботехнических характеристик узлов скольжения возможно за счет обеспечения режима граничной смазки или путем целесообразного размещения в зоне фрикционного контактирования специальных триботехнических элементов, способных снизить трение в подшипниковых узлах [3], например, при использовании композитов на основе древесины. Такие материалы обладают достаточно низким коэффициентом трения по сталям и чугунам в широком диапазоне нагрузок и скоростей, имеют высокую износостойкость, хорошо сопротивляются коррозии, обладают высокой водо-, масло- и бензостойкостью, гасят динамические нагрузки, быстро прирабатываются.

В процессе исследований [3-6] были выявлены закономерности влияния строе-

фазы различной формы и химического состава.

Таким образом, целью работы является обоснование конструкций подшипников скольжения с вкладышами, изготавливаемыми из новых антифрикционных армированных древесно-металлических материалов, обладающих повышенными триботехническими свойствами, обеспечивающими возможности расширения сфер их промышленного использования.

Между контактными пластинами и образцом размещались рабочие спайи термопар, подключаемых к потенциометру. Для снижения теплоотдачи в окружающую среду прибор накрывался теплоизолирующей оболочкой.

Показателем теплопроводности являлась температура на противоположной поверхности образца, достигаемая через 5 минут нагрева. Отношение температур нагреваемой и противоположной поверхностей принималось за условный показатель теплопроводности. Сравнивая показатели, полученные для различных образцов, можно судить о степени их теплопроводности. При этом имелось в виду, что чем выше этот показатель, тем более теплопроводен материал.

ния древесины, технологических аспектов её модифицирования на формирование функциональных характеристик создаваемых антифрикционных материалов. Показано, что повышение работоспособности триботехнических деталей может быть обеспечено за счет оптимизации как древесной основы, так и состава применяемых наполнителей, а также путем направленного формирования требуемой макро- и микрогеометрии и некоторых других параметров поверхностных слоев деталей при их окончательной обработке.

Для повышения работоспособности деталей, эксплуатируемых в условиях отсутствия их эффективного смазывания, перспективно использование в древесном антифрикционном материале сочетания металлической и твердосмазочной состав-

ляющих. Оптимизирующая фаза может вводиться в матрицу в виде отдельных изолированных включений различной формы и дисперсности или путем создания своего рода каркаса, выполненного из отдельных элементов, соединяемых между собой [8].

Экспериментально установлено, что для обеспечения требуемой работоспособности древесно-металлических вкладышей подшипников скольжения эффективным является послойное размещение сферических элементов оптимизирующей фазы в объеме древесной основы [9]. При этом размеры металлических частиц должны уменьшаться по мере их заглубления от рабочей поверхности подшипника скольжения.

Сферическая форма металлической фазы позволяет обеспечить равномерное распределение наполнителя в древесной матрице, а также управлять его концентрацией в различных локальных зонах вкладышей. Металлические включения по толщине вкладыша целесообразно распределять концентрично расположенными слоями с различными размерами металлических частиц и концентрацией наполнителя в каждом слое.

Оптимизация температурного режима в зоне фрикционного контакта может

быть достигнута за счет увеличения объема теплоотводящих металлических элементов и достижения аккумуляции тепловой энергии при плавлении используемых в композите металлов или вследствие теплопоглощения, происходящего при эвтектидных или эвтектических превращениях. Реализация такого теплоаккумулирующего эффекта способствует дополнительному улучшению теплофизических свойств рассматриваемых материалов.

В соответствии с изложенным был предложен подшипник скольжения с вкладышем из древесной основы и теплоотводящих элементов, выполненных в виде капсул с оболочкой, заполненной легкоплавким сплавом. Оболочка капсулы препятствует растеканию расплавленного металла, а сами оболочки изготавливаются из материалов высокой теплопроводности, обладающих более высокой температурой плавления, чем заполняющий их легкоплавкий материал, например, из меди, алюминия, бронзы. Объем содержимого и толщина оболочки капсулы определяются уровнем тепловыделения при эксплуатации подшипника [10].

Схематически образцы структур рассмотренных материалов представлены на рис. 1.

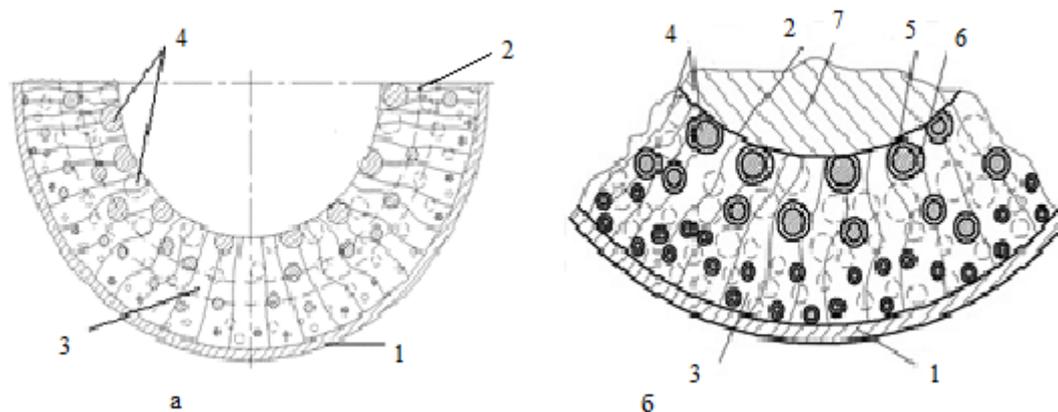


Рис. 1. Структуры древесно-металлических композиционных материалов: а - со сплошными металлическими элементами; б - с элементами в форме капсул (1 - опорная втулка, 2 - рабочий вкладыш, 3 - древесная матрица, 4 - теплоотводящие металлические включения, 5 - наполнитель капсулы, 6 - оболочка капсулы, 7 - шейка вала)

Для упрощения конструкции и снижения трудозатрат при изготовлении подшипника была предложена более технологичная конструкция вкладыша дре-

весно-металлического подшипника, состоящая из чередующихся древесных и металлических слоев [11]. В этом случае металлический слой выполняет функции

армирующего элемента вкладыша подшипника скольжения. При этом металлическая полоса может быть как сплошной, так и с выполненными в ней сквозными отверстиями. Возможно также использование в качестве металлической составляющей мелкоячеистой сетки.

Изготовление такого вкладыша осуществляется путем одновременной навивки по спирали на технологическую оправку металлической полосы или используемой вместо нее сетки из антифрикционного материала и проклеенных слоев шпона, изготавливаемых из древесины различных пород. При этом предоставляется возможность, варьируя толщинами используемого древесного шпона и металлической составляющей композита, управлять его теплофизическими и фрикционными параметрами. На рис. 2

представлена схема формирования рассмотренного подшипника скольжения.

Триботехнические характеристики некоторых из предложенных древесно-металлических антифрикционных материалов, установленные в результате экспериментальных исследований, представлены в таблице.

С учетом опыта использования описанных выше антифрикционных диссипативных подшипников скольжения обоснована новая конструкция, обладающая более широкими возможностями управления их функциональными характеристиками [12]. В предложенную конструкцию вводится демпфирующий элемент в виде растянутой пружины, которая также наматывается по спирали между слоями проклеенной древесины (рис. 3, 4).

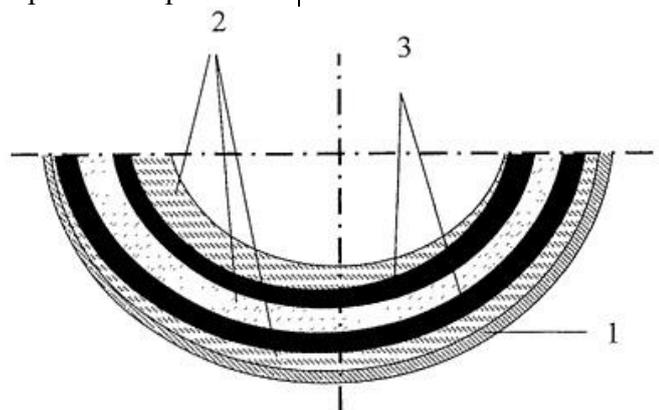


Рис. 2. Схема древесно-металлического вкладыша подшипника скольжения: 1 - опорная втулка; 2 - проклеенные древесные слои; 3 - металлическая полоса или сетка

Таблица

Триботехнические характеристики исследуемых древесно-металлических антифрикционных материалов

Условия триботехнических испытаний	Триботехнические характеристики исследуемых армированных материалов					
	Сферическая металлическая фаза (бронза) в прессованной березе			Свертный из латунной сетки и березового шпона		
	Коэффициент трения	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	Интенсивность изнашивания, г/км	Коэффициент трения	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	Интенсивность изнашивания, г/км
Граничная смазка	0,19	0,17	0,22	0,15	0,10	0,54
Абразивно-масляная суспензия	0,26	0,22	0,108	0,30	0,15	0,133

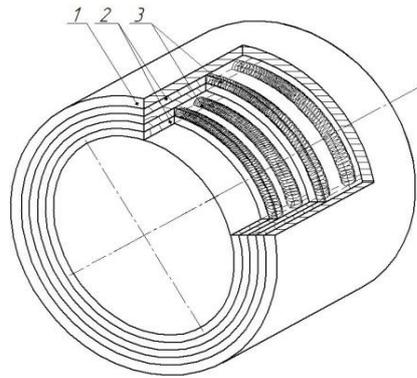


Рис. 3. Схема вкладыша подшипника скольжения с металлической фазой в виде пружины: 1-опорная втулка; 2- слои проклеенной древесины; 3 – пружина

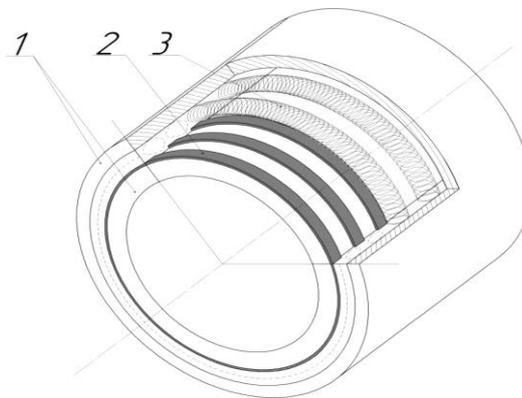


Рис.4. Схема вкладыша подшипника с металлическими элементами в виде ленты и пружин: 1 - слои проклеенной древесины; 2 - металлическая лента; 3 - пружина

Такой подход позволит, во-первых, уменьшить концентрацию металлической фазы, во-вторых, увеличить площадь отвода тепла. Кроме того, поскольку пружина при изготовлении вдавливается в слой древесины, ее сжимающий эффект обеспечивает увеличение прочностных и демпфирующих характеристик создаваемого вкладыша.

При обосновании параметров армированных древесно-металлических вкладышей и прогнозировании их работоспособности важным фактором является обоснование концентрации металлической фазы в объеме композита и задание среднего расстояния между витками пружины в слое древесной основы. Это необходимо, поскольку данный параметр связан с формированием температурного режима работы подшипника скольжения и уровнем

остаточного напряженного состояния на внутренней поверхности вкладыша.

Для решения температурной задачи необходимо выявление закономерностей изменения температуры по толщине вкладыша в процессе его работы. При этом температура на рабочей поверхности вкладыша ($T_{пов}$) и глубинная температура на расстоянии $h(T_h)$ от поверхности контакта отличаются в k раз. Поэтому интенсивность отвода тепла из поверхностного слоя должна быть в k раз больше, чем из глубинных слоев. Соответственно должна отличаться и концентрация металлической фазы в поверхностном слое.

Коэффициент объемного содержания металлических составляющих в объеме вкладыша может быть рассчитан по формуле

$$m = V_{мет}/V_{вклад}$$

т.е.

$$m = \frac{D_{np} \cdot k \cdot d_{np}^2 \cdot n \cdot \pi}{b(d_{B2}^2 - d_{B1}^2)},$$

где $V_{мет}$ -объем металлических составляющих вкладыша подшипника; $V_{вклад}$ - объем вкладыша подшипника; D_{np} - внешний диаметр армирующей пружины; k - число витков пружины; d_{np} -диаметр проволоки; n - количество имплантируемых элементов; b - ширина вкладыша; d_{B1} , d_{B2} - внутренний и наружный диаметры вкладыша.

Используя приведенные зависимости, задаваясь геометрическими характеристиками подшипника, требуемым соотношением древесной и металлической фаз, средним шагом навивки пружины по слою, можно рассчитать необходимое число металлических элементов и их размеры. В случае задания изменяющейся по глубине вкладыша концентрации металлической фазы расчет ее параметров можно выполнять, выделяя отдельные слои [13].

Теплообразование в подшипнике и количество тепла, выделяющегося в нем в единицу времени (ккал/ч), рассчитывается по формуле

$$W = (W_1 + W_2),$$

где W_1 -количество тепла, отводимого корпусом и валом; W_2 -количество тепла, отводящегося смазкой (в расчетах подшипников без принудительной смазки эта величина равна нулю).

Количество тепла, отводимого корпусом подшипника(ккал/ч), рассчитывается по формуле

$$W_1 = kF_B(t_M + t_B),$$

где k - коэффициент теплопередачи, ккал/м²ч·град; F_B - свободная площадь подшипника, м²; t_M - средняя температура смазочного слоя в рабочей зоне подшипника, °С; t_B - температура воздуха, омывающего подшипник.

Коэффициент теплопередачи k определяется по обратной величине R :

$$k = \frac{1}{R},$$

где R - термическое сопротивление теплопередачи.

Поверхность F разбиваем на цилиндрические участки (рис. 5), для которых в теории теплопередачи установлена следующая зависимость:

$$R = \frac{D}{a_M d_1} + d_{i+1} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{a_B},$$

где a_M -коэффициент теплоотдачи от смазочного слоя стенки, ккал/м²ч·град; a_B - коэффициент теплоотдачи от поверхности подшипника окружающему воздуху (10 ккал/м²ч·град); λ_i - коэффициент теплопроводности слоя стенки, ккал/м²ч·град; D - наружный диаметр вкладыша подшипника; d_i - меньший диаметр порядкового цилиндрического слоя; d_{i+1} - больший диаметр того же слоя

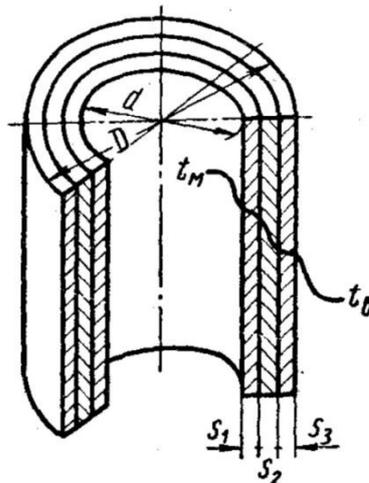


Рис. 5. Схема деления вкладыша на слои для теплового расчета

При отношении $\frac{D}{d} < 2$ величину термического сопротивления теплопередачи R для многослойной цилиндрической стенки можно с достаточной точностью вычислить по формуле для плоской многослойной стенки:

$$R = \frac{1}{a_m} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_b},$$

где S_i - толщина слоя подшипника, м.

Основа вкладыша преимущественно состоит из древесины, и коэффициент теплопроводности будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\lambda = \lambda_{\text{ном}} K_p K_x,$$

где $\lambda_{\text{ном}}$ - номинальное значение коэффициента теплопроводности при заданной температуре и влажности; K_p - коэффициент, учитывающий условную плотность древесины; K_x - коэффициент, учитывающий направление теплового потока ($K_x = 1,0$ в тангенциальном направлении поперек волокон для всех пород, в радиальном - $K_x = 1,15$; вдоль волокон для хвойных пород $K_x = 2,20$).

Вследствие особенностей строения теплопроводность древесины невысока, поэтому для ее увеличения в конструкции подшипников необходимо использовать прессованную модифицированную древе-

Заключение

1. Состав и структуры предложенных антифрикционных материалов позволяют в существенной степени обеспечить достижение повышенных механических, теплофизических и триботехнических характеристик путем рационального комбинирования древесины различных пород и металлических составляющих композита.

2. Новые древесно-металлические композиционные материалы, сочетающие в себе модифицированную древесину и металлический наполнитель, изготовленный из различных антифрикционных материалов или представляющий собой специальные капсулы, заполненные легкоплавкими материалами, позволяют оптимизировать тепловой режим работы вкла-

дину. Также важно благоприятное расположение волокон древесины во вкладыше, так как теплопроводность значительно выше вдоль волокон, чем поперек.

От направления по отношению к волокнам также зависят температурные деформации материала: наименьшее расширение от тепла - вдоль волокон, наибольшее - поперек волокон в тангенциальном направлении. Коэффициенты линейного расширения древесины вдоль волокон в 7-10 раз меньше, чем поперек волокон.

Используя изложенную выше методику, можно рассчитать основные параметры создаваемых подшипников скольжения. Расчет сводится к нахождению термического сопротивления теплопередачи, которое будет считаться удовлетворительным при $R = 0,1$ [13].

Используя приведенные зависимости, получим значение термического сопротивления теплопередачи подшипника $R = 0,12$ (для металлов $R = 0,1$). Из этого следует, что антифрикционные материалы на древесной основе с металлическими армирующими элементами обладают практически такой же теплопроводностью, что и цельнометаллические вкладыши подшипников скольжения.

дышей подшипников скольжения и открывают более широкие перспективы повышения их работоспособности.

3. Изготовление вкладышей путем совместной навивки металлической полосы со сквозными отверстиями или элемента в виде растянутых пружин из антифрикционного материала и проклеенных лент шпона позволяет значительно повысить их технологичность и расширить сферу промышленного использования.

4. Предложенная методика решения температурной задачи позволяет оптимизировать основные параметры структурных составляющих рассматриваемых подшипников скольжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 50-339-82. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний на изнашивание абразивно-масляной прослойкой//Гос. комитет СССР по стандартам. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 8 с.
2. Прусс, Б.Н. Повышение работоспособности подшипников скольжения деревообрабатывающего оборудования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05 / Б.Н. Прусс. – Брянск, 2010. – 20 с.
3. Белый, В.А. Металлополимерные системы / В.А. Белый, Ю.М. Плескачевский. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
4. Шаповалов, В.М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов/В.М. Шаповалов, З.Л. Тартаковский; под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002. – 296 с.
5. Шамаев, В.А. Модификация древесины / В.А. Шамаев. – М.: Экология, 1991. – 128 с.
6. Пирназаров, Р.Я. Создание древеснополимерных самосмазывающих композитов и методов формирования из них длинномерных опор скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Р.Я. Пирназаров.- Гомель, 1992. – 24 с.
7. Барсуков, В.Г. Экструзионные технологии переработки материалов растительного происхождения/ В.Г. Барсуков, А.И. Свириденко, Д.В. Бабко [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты.- 2002. - Т. 7. - № 2. - С.65-70.
8. Шамаев, В.А. Получение модифицированной древесины с высокими прочностными свойствами/ В.А. Шамаев, Р.В. Скориданов, В.В. Постников // ИВУЗ. Лесной журнал. - 2006. - № 4. - С. 79-83.
9. Подшипник скольжения: пат. на изобрет. 2289732 РФ: МПК F16C 33/24 / Памфилов Е.А., Шевелева Е.В., Сидоров О.В., Муратов Д.И. – Опубл. 20.12.06.
10. Подшипник скольжения: пат.на изобрет. 2432508 РФ: МПК F16C / Памфилов Е.А., Сидоров О.В., Шевелева Е.В., Алексеева Е.В., Пилюшина Г.А. – Опубл. 27.10.11.
11. Подшипник скольжения: пат.на полез. модель 108519 РФ: МПК F16C 33/04, 33/24 / Памфилов Е.А., Лукаш А.А., Прусс Б.Н., Пилюшина Г.А. – Опубл. 20.09.11.
12. Подшипник скольжения: пат.на полез. модель 177912 РФ:МПК F16C 33/04, 33/24 / Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Осипов А.А. – Опубл. 15.03.18.
13. Чернавский, С.А. Проектирование механических передач / С.А. Чернавский. – М.: Машиностроение, 1976. – 608 с.
14. Чернилевский, Д.В. Техническая механика / Д.В. Чернилевский, Е.В. Лаврова, В.А. Романов. – М.: Наука, 1982. – 544 с.
1. RD 50-339-82. Wear-resistant products support. Methods of wear testing with abrasive-oil layer // State Committee on Standards of the USSR. – М.: Publishing House of Standards, 1982. – pp. 8.
2. Pruss, B.N. Sliding bearings working capacity of woodworking equipment: *Author's Abstract for Can. Sc. Tech. Degree Thesis*: 05.21.05. / B.N. Pruss. – Bryansk, 2010. – pp. 20.
3. Bely, V.A. *Metal Polymeric Systems* / V.A. Bely, Yu.M. Pleskachevsky. – М.: Knowledge, 1982. – pp. 64.
4. Shapovalov, V.M. *Multi-component Polymeric Systems Based on Secondary Raw Materials* / V.M. Shapovalov, Z.L. Tartakovsky; under the general editorship of Yu.M. Pleskachevsky. – Gomel: IMMS NANB, 2002. – pp. 296.
5. Shamaev, V.A. *Wood Modification* / V.A. Shamaev. – М.: Ecology, 1991. – pp. 128.
6. Pirnazarov, R.Ya. Creation of wood-polymeric self-lubricating composites and methods of formation of them long-length sliding bearings: *Author's Abstract for Can. Sc. Tech. Degree Thesis*: 05.02.01. / R.Ya. Pirnazarov. – Gomel, 1992. – pp. 24.
7. Barsukov, V.G. Extrusion technologies for herbal material processing / V.G. Barsukov, A.I. Sviridenok, D.V. Babko [et al.] // *Materials. Technologies. Tools*. – 2002. – Vol.7. – No.2. – pp. 65-70.
8. Shamaev, V.A. Manufacturing modified wood with high strength properties / V.A. Shamaev, R.V. Skoridanov, V.V. Postnikov // *IVUZ. Forest Journal*. – 2006. – No.4. – pp. 79-83.
9. *Sliding Bearing*: Pat. for Invention 2289732 RF: IPC F16C 33/24 / Pamfilov E.A., Sheveleva E.V., Sidorov O.V., Muratov D.I. – published: 20.12.06.
10. *Sliding Bearing*: Pat. for Invention 2432508 RF: IPC F16C / Pamfilov E.A., Sidorov O.V., Shevelyova E.V., Alekseeva E.V., Pilyushina G.A. – published: 27.10.11.
11. *Sliding Bearing*: Pat. for Utility 108519 RF: IPC F16C 33/04, 33/24 / Pamfilov E.A., Lukash A.A., Pruss B.N., Pilyushina G.A. – published: 20.09.11.
12. *Sliding Bearing*: Pat. for Utility 177912 RF: IPC F16C 33/04, 33/24 / Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Osipov A.A. – published: 15.03.18.
13. Shernavsky, S.A. *Mechanical Transmission Design* / S.A. Chernavsky. – М.: Mechanical Engineering, 1976. – pp. 608.
14. Chernilevsky, D.V. *Technical Mechanics* / D.V. Chernilevsky, E.V., Lavrova, V.A. Romanov. – М.: Science, 1982. – pp. 544.

Статья поступила в редакцию 18.04.19

Рецензент: д.т.н., профессор Вяцкого государственного университета

Аганов А.И.

Статья принята к публикации 27. 05. 19.

Сведения об авторах:

Пилюшина Галина Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского государственного технического университета, тел. 8-920-604-39-13, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.

Памфилов Евгений Анатольевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» Брянского госу-

Pilyushina Galina Anatolievna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Tribo-technical Material Science and Material Technology”, Bryansk State Technical University, e-mail: gal-pi2009@yandex.ru.

PamfilovEvegnyAnatolievich, Dr. Sc. Tech., Prof., Head of the Dep. “Tribo-technical Material Science

дарственного технического университета, тел. 8-905-100-17-51, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

Шевелева Елена Викторовна, к.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис» Брянского государственного инженерно-технологического университета, тел. 8-910-332-05-30, e-mail: elshev78@yandex.ru.

and Material Technology”, Bryansk State Technical University, e-mail: epamfilov@yandex.ru.

Shevelyova Elena Victorovna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Transport-technological Machines and Service”, Bryansk State Engineering-Technological University, e-mail: elshev78@yandex.ru.