

УДК 630.323.113

UDC 630.323.113

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ В ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕМ ОБОРУДОВАНИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА, АРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКОЙ

INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF BEARINGS OF SLIDING IN WOOD MANUFACTURE EQUIPMENT WITH USE OF POLYMERIC MATERIAL, REINFORCED WITH METAL SHAVING

Усиков Алексей Васильевич
Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

Usikov Alexey Vasilevich
Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

В статье рассматривается износостойкость антифрикционного полимернометаллического материала в прямой и обратной парах трения с учетом условий и режимов эксплуатации подшипников скольжения в лесообрабатывающем оборудовании

In the article, wear resistance of an antifrictional polymer-metal material in direct and return steams of a friction, taking into account the conditions and modes of operation of bearings of sliding in timber equipment is considered

Ключевые слова: АНТИФРИКЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ИЗНОС, ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ

Keywords: ANTIFRICTIONAL COMPOSITE MATERIAL, DETERIORATION, SLIDING BEARING, FRICTION FACTOR

Повышение работоспособности подшипников скольжения в лесообрабатывающем оборудовании можно обеспечить за счет увеличения износостойкости сопрягаемых деталей, теплопроводности антифрикционного полимерного материала и повышения сопротивляемости воздействию динамических и циклических нагрузок. Повысить рабочий ресурс узлов трения в лесообрабатывающем оборудовании можно с помощью замены бронзового антифрикционного материала на более эффективный пластиковый антифрикционный материал.

Полимерные и полимерные композиционные материалы позволяют повысить надежность и долговечность деталей узлов трения. К важнейшим теплофизическим свойствам полимеров относятся их тепло - и теплопроводность, теплоемкость, температурные коэффициенты линейного и объемного расширения и усадка. Увеличение теплопроводности полимеров достигается путем введения в композицию металлических наполнителей (порошкообразных, волокнистых и других материалов) с высокой тепло- и электропроводностью [1, 2].

Для улучшения физико-механических и трибологических свойств подшипника используют различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, тальк и металлические наполнители – порошок меди, бронзы, свинца, титана, которые хаотично располагаются в материале. Такое хаотичное расположение наполнителя не позволяет равномерно и интенсивно отводить тепло из зоны трения (рис.1, а).

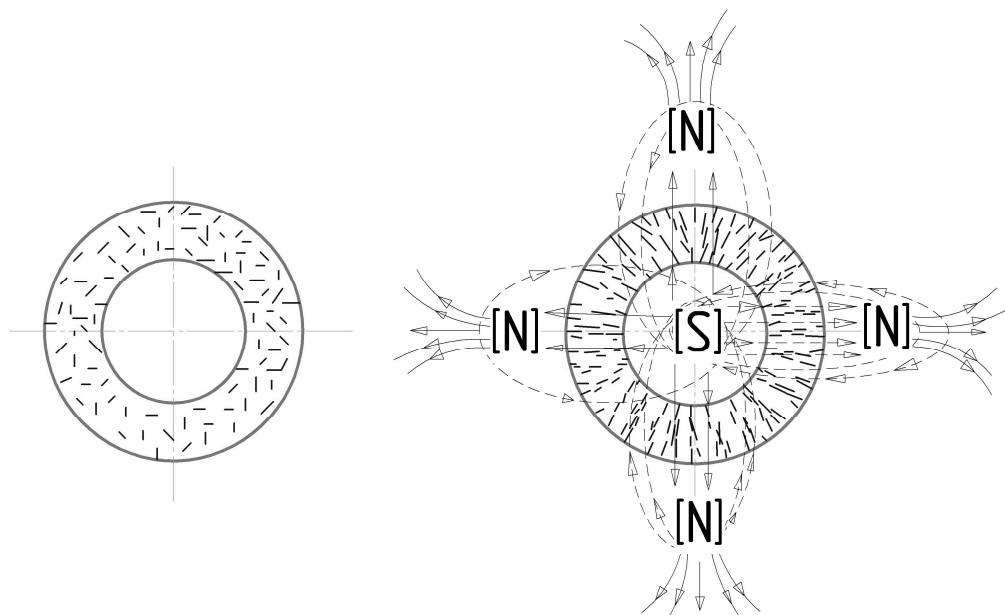


Рис.1 Расположение ферромагнитного наполнителя без воздействия магнитного поля (а) и под воздействием магнитного поля (б).

Для устранения указанных недостатков элементов подшипников из полимеров, обладающих плохой теплопроводностью, предлагается использовать при изготовлении втулок в качестве наполнителя мелкую металлическую стружку (например, низкоуглеродистую сталь). Такой наполнитель можно равномерно распределить по объему полимера и выстроить металлические частички в заданном расположении за счет применения магнитного поля, так как данный металлический наполнитель относится к ферромагнитным материалам. В процессе изготовления антифрикционной втулки под воздействием магнитного поля частички стали можно выстроить таким образом, что они составляют цепочки, соединяющие внутреннюю поверхность втулки с внешней. Теплопроводные мостики выстраиваются

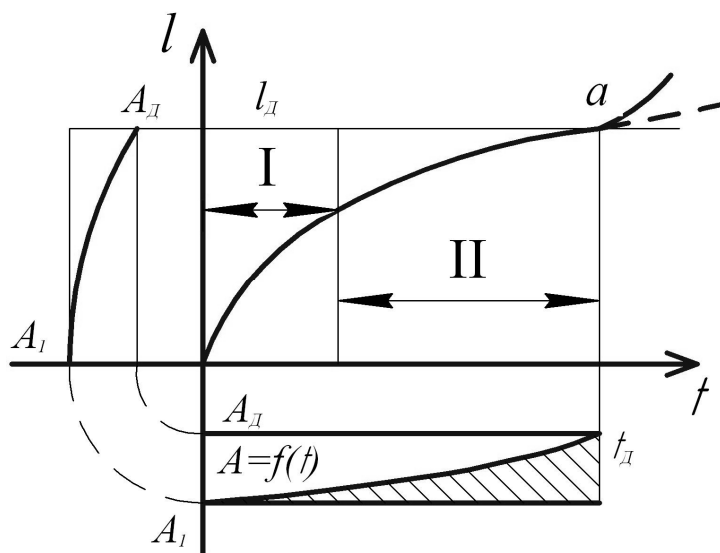
по линиям магнитного поля, которые должны быть расположены перпендикулярно оси втулки (рис. 1, б). Оптимальное содержание наполнителя составляет до 20 % (по массе). Учитывая такое расположение металлического ферромагнитного наполнителя в полимерной матрице, был предложен способ изготовления антифрикционных элементов подшипников скольжения. На данный способ изготовления цельнопрессованных втулок подшипников скольжения была пода заявка № 2010128889/02(040987) от 12.07.2010 года и получено решение о выдаче патента на изобретение номер заявки № 2010128889/02(040987) от 28.10.2011.

Для снижения коэффициента трения и износа, наполняются твердыми смазками – графитом, дисульфидом молибдена, дисульфидом бора, коксом и др. В качестве антифрикционных наполнителей применяют твердые смазочные материалы, твердые кристаллические материалы со сложными решетками, легкоплавкие и пластичные металлы, отдельные полимеры (графит, нитрид бора, дисульфид молибдена, вольфрама, иодиды кадмия, свинца, висмута, закись меди, фторопласты и др.). Смазывающие добавки имеют низкую прочность, поэтому вводить их нужно в малом количестве (3...7 % от массы), которых достаточно для образования поверхности трения с малым коэффициентом трения [3]. Введенные в малых количествах, они способствуют снижению внутренних напряжений в композиционных материалах и повышают их механические свойства. Увеличение количества добавок снижает механическую прочность композиционного полимерного материала и не приводит к снижению коэффициента трения.

Предлагается использовать в подшипниках скольжения лесоперерабатывающего оборудования в качестве антифрикционного материала полимер, армированный ориентированной металлической стружкой. Для полимернометаллических подшипников скольжения характерно многообразие конструкций, в которых используется большое число различных анти-

фрикционных материалов. Однако одним из главных критериев работоспособности подшипников скольжения является износ сопрягаемых деталей, что влияет на надежность узла [2, 3].

Диаграмма изнашивания опоры скольжения показана на рис. 2. Заштрихованное поле характеризует потери работоспособности. Ресурс подшипника скольжения с полимерной втулкой определяется предельным износом полимера, если монотонно возрастающий зазор не влияет на работоспособность узла, агрегата или оборудования, базирующегося на данных подшипниках.



l, l_A – линейный износ и предельное допустимое значение износа;

t, t_D – время эксплуатации и ресурс подшипника; A, A_A – исходный показатель работоспособности и его предельное допустимое значение

Рис. 2. Конструкционная износостойкость полимерно-металлических подшипников скольжения

Скорость изнашивания полимернометаллических подшипников скольжения, при установке новых элементов подшипника, уменьшается в процессе эксплуатации. Временной интервал I, характеризуется интенсивным изнашиванием и является периодом приработки сопрягаемых деталей. После приработки опоры скольжения наступает установившейся период

работы, износ сопрягаемых деталей в данный момент минимальный. Интервал II, заканчивается (рис. 1) точкой *a*, когда скорость изнашивания подшипника минимальна, но при этом достигнуто предельное допустимое значение его износа (работоспособность опоры скольжения исчерпана). Дальнейшая эксплуатация подшипника скольжения приводит к интенсивному износу антифрикционной полимерно-металлической втулки вследствие нарушения геометрической точности сопрягаемых деталей [1, 4].

Чтобы увеличить долговечность подшипникового узла лесообрабатывающего оборудования, антифрикционный полимернометаллический материал выгоднее использовать в качестве обратной пары, в которых композиционный материал вращается вместе с валом. Кроме того, в обратной паре благодаря распределению снятого при изнашивании объема материала по всей поверхности вала прирост зазора будет значительно меньше, чем в прямой паре.

Можно приближенно определить отношение износов деталей в прямой и обратной паре трения. Для простоты расчетов примем условие, что вал в прямой паре и подшипник в обратной паре не изнашиваются и объемные износы деталей обеих пар одинаковы.

В случае использовании прямой пары трения, когда опора скольжения работает в режиме частого пуска и остановки, площадь выработанной валом лунки в нормальном к оси сечении (рис. 3) приближенно рассчитывается следующей формулой:

$$S_1 = \frac{2}{3}bh, \quad (1)$$

где S_1 – площадь радиального сечения лунки, мм²;

h – ширина лунки, мм;

b – глубина лунки, мм.

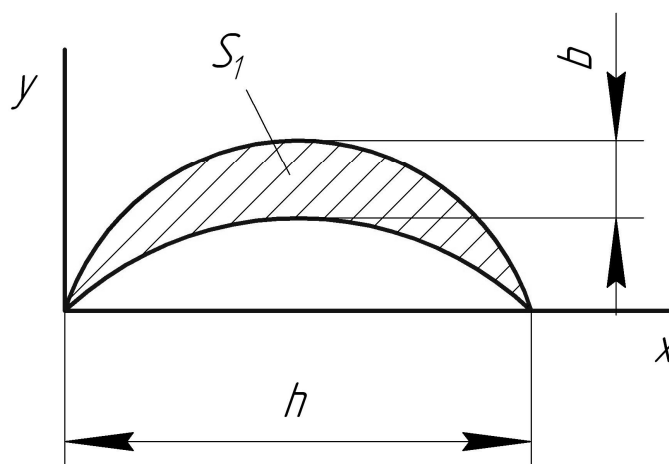


Рис. 3. Положение вала в выработанной им втулке (прямая пара)

Когда вал подшипника скольжения вращается вместе с антифрикционной втулкой относительно корпуса опоры скольжения, зона трения образуется между внешней цилиндрической поверхностью антифрикционной втулки и внутренней цилиндрической поверхностью металлического корпуса подшипника. Износ шейки вала в обратной подшипниковой паре (рис. 4) определяется из уравнения [1, 4]:

$$S_2 = 2pra - pa^2, \quad (2)$$

где S_2 – площадь износа по радиальному сечению вала, мм²;

a – радиальный износ вала, мм;

b – диаметральный зазор, мм.

Разделив уравнение (2) на уравнение (1), приняв, что $S_1 = S_2$ и пренебрегая величиной a^2 ввиду того, что вал в обратной паре трения практически не изнашивается, получим:

$$\frac{2pra}{2/3bh} = 1, \quad (3)$$

Если принять $h = 2r$, то $b \approx 5a$,

где a – половина прироста зазора в прямой паре;

b – прирост зазора в обратной паре.

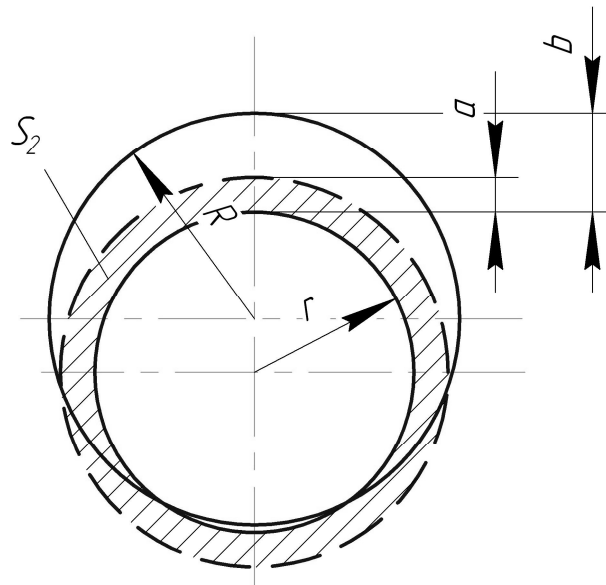


Рис. 4. Положение вала в корпусе после износа антифрикционного полимерно-металлического материала (обратная пара)

В данном случае увеличение диаметрального зазора в прямой паре в 2,5 раза больше, чем в обратной паре. Практически $h \approx 2r$, следовательно, увеличение зазора в прямой паре будет еще больше. Если износ вала в обратной паре больше чем на подшипнике в прямой паре, то отношение $b/2a$ будет меньше теоретического, но всегда прирост зазора в прямой паре будет больше, чем в обратной. Износостойкость композиционной капроновой втулки в обратной паре трения почти в 3 раза превышает износостойкость такой же втулки в прямой паре [1, 2].

Не смотря на указанные преимущества, применение обратной пары в подшипниках скольжения лесообрабатывающего оборудования не нашло должного распространения, что объясняется сложность технологического процесса нанесения материала или трудностью закрепления на валу втулок из пластмассы.

Нам проводились сравнительные исследования композиционного полимернометаллического материала на износостойкость в прямой и обратной паре трения. Износостойкость композиционного материала определялась на лабораторном стенде, изготовленного с учетом режима работы

лесообрабатывающего оборудования, по схеме вал – подшипник. Для получения большего износа обеих пар использовался повышенный режим испытаний. Исследовались сравнительные испытания износостойкости прямой и обратной пар трения. Перед каждым опытом подшипники скольжения проходили приработку при нагрузке 2 МПа и минимальной скоростью скольжения до 0,1 м/с. Приработка считалась законченной в том случае, когда момент трения и температура в зоне трения стабилизировалась. По окончании приработки полимерные подшипники испытывались на всех скоростях и нагрузках.

В процессе исследований определялся весовой износ втулки до и после работы подшипника скольжения, затем определялся линейный износ по изменению диаметров сопряженных деталей узла трения в соответствии с рекомендованными схемами измерений (рис. 5). В результате можно установить интенсивность линейного изнашивания того или иного материала, которая характеризуется отношением величины износа к величине пути трения.

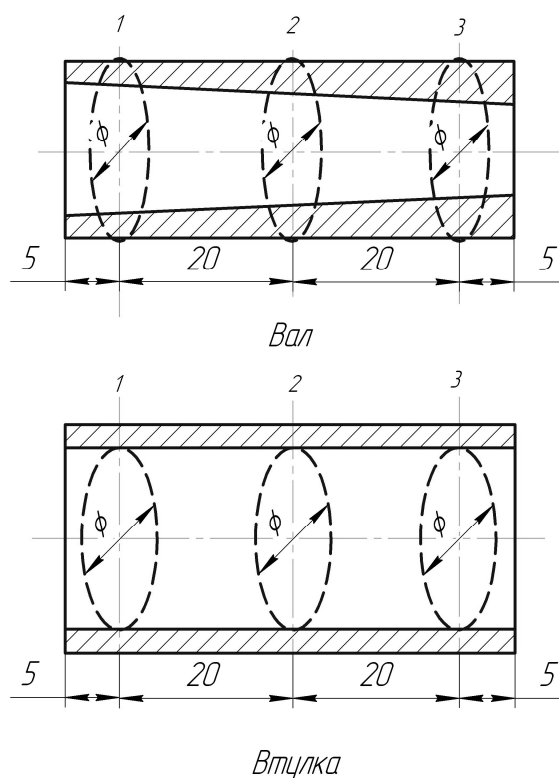


Рис. 5. Схема измерений линейного износа

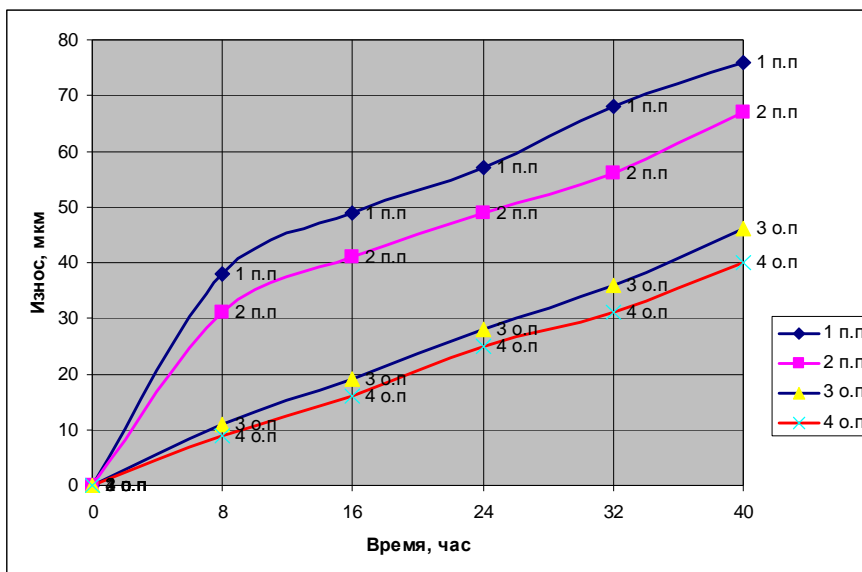
Для определения величины износа материала и распределения износа по поверхности трения использовали метод определения линейного износа. Измеряя размеры пары трения до и после испытания, определяли разность линейных размеров и тем самым судили о величине линейного износа. Линейный износ выражается в безразмерных единицах. Износ также определяли по потере в весе, но весовой способ определения износа является интегральным, потому что фактически определяется суммарная потеря веса по всей поверхности трения.

Линейный износ подшипников скольжения с антифрикционными полимерно-металлическими втулками из капролона определялся при вращательном движении. Для получения возможно большего износа антифрикционных пластиков были приняты следующие режимы испытаний: скорость скольжения $V=1,06$ м/с и удельная нагрузка $P=9,0$ МПа с зазором $\Delta=0,3$ мм, без подачи смазочного материала, длительность испытания 40 часов.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке б в виде зависимости величины износа от продолжительности испытания. Износостойкость капролоновой втулки без металлического наполнителя в прямой паре по линейному износу равна 0,53, а износостойкость композиционной втулки с металлическим наполнителем по линейному износу составляет 0,62. Износостойкость стального вала в прямой паре трения была незначительна. Износостойкость капролоновой втулки в обратной паре трения по линейному износу равна 0,88, а износостойкость композиционной втулки составляет 1,02. Износ стального вала в обратной паре отсутствовал. Как видно из приведенных значений, износ вала отсутствует или незначительный, что указывает на пользу применения в качестве обратной пары трения антифрикционного материала в узлах трения лесоперерабатывающего оборудования.

Износостойкость полимерной втулки без металлического наполнителя в прямой паре трения подшипника скольжения составляет 5,3, а износо-

стойкость композиционной полимерной втулки с металлическим наполнителем равна 0,59 по весовому износу (рис. 7).



1 п.п - полимер без металлического наполнителя в прямой паре подшипника скольжения; 2 п.п – полимер с металлическим наполнителем; 3 о.п – полимер без наполнителя в обратной паре подшипника скольжения; 4 о.п – полимер с металлическим наполнителем

Рис. 6. Зависимость линейного износа антифрикционных втулок от продолжительности испытания в условиях граничной смазки

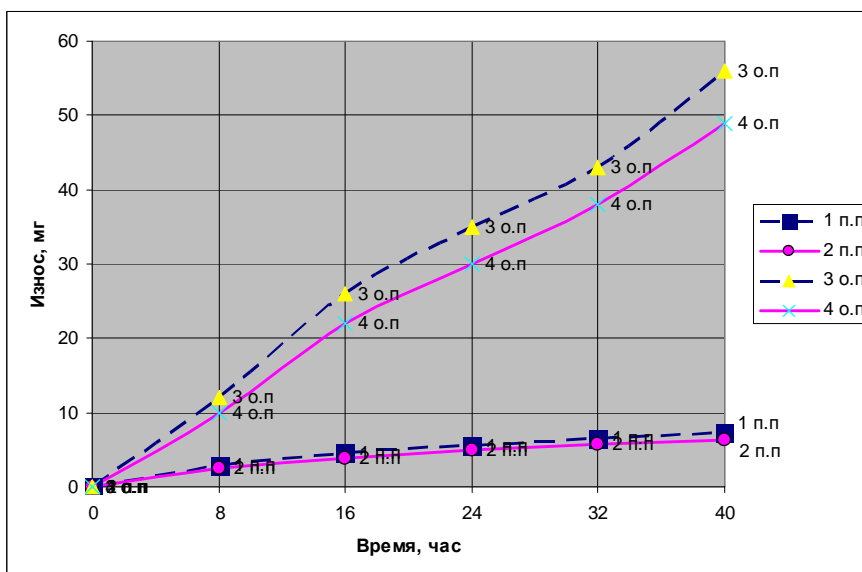


Рис. 7. Зависимость весового износа от продолжительности испытания в условиях граничной смазки.

Износостойкость полимерного материала на основе полиамида (капролон) без металлического наполнителя в обратной паре трения подшипника скольжения составляет 0,86, а износостойкость композиционного антифрикционного материала на основе полиамида с металлическим наполнителем в обратной паре трения составляет 1,0.

Таким образом, износостойкость полимерной антифрикционной втулки на основе полиамида (капролон) с металлическим наполнителем в обратной паре опоры скольжения по линейному износу почти в полтора раза превышает износостойкость такого же материала в прямой паре трения. По величине весового износа, наоборот, износостойкость втулки в прямой паре трения более чем в четыре раза выше износостойкости в обратной паре. Однако в практике работу подшипника скольжения предопределяет не весовой, а линейный износ сопрягаемых деталей.

Как показывают графики (рисунки 5 и 6), при равных условиях, наибольший износ полимерной втулки (без наполнителя) будет в прямой паре трения, а наименьший – у образцов с металлическим наполнителем. Использование металлического наполнителя в полимерной втулке позволяет снизить температурную напряженность в зоне трения за счет повышения теплопроводности антифрикционного материала, а радиально ориентированное расположение металлических частиц способствует повышению прочности втулки на сжатие.

Кроме того, заметно, что линейный износ уменьшается при увеличении скорости скольжения и нагрузки. Это говорит о том, что при тяжелых режимах работы узла трения, связующее антифрикционного материала размягчается, что дает возможность участвовать в процессе трения большему количеству частиц композиционного материала, в результате чего уменьшается коэффициент трения и линейный износ.

Литература

1. Полимерные композиционные материалы в триботехнике [Текст] : учеб. пособие / Ю.К. Машков [и др.]. – М.: НЕДРА, 2004. - 256 с.

2. Металлополимерные материалы и изделия [Текст] : учеб. для вузов / под ред. В.А. Белого. – М.: Химия, 1979. – 312с.

3. Пошарников Ф.В. Исследование вращательного процесса трения в подшипниках скольжения лесоперерабатывающего оборудования [Текст] / Ф. В. Пошарников, А. И. Серебрянский, А. В. Усиков // Лесотехнический журнал. Научный журнал № 2 (2) – Воронеж 2011. – С. 92-95.

4. Восстановление автомобильных деталей полимерными материалами [Текст] : учеб. пособие / Г.В. Мотовилин, В.К. Брин, Ю.И. Шальман, Ю.А. Закатов (Гос. Науч. Исслед. Ин-т автомобильного транспорта Ленфилиал). – М.: Транспорт, 1974. – 180с.