



УДК 674.05:620.16

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН

Г.А. Пилюшина, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [H-1699-2019](https://orcid.org/0000-0002-2422-0919),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2422-0919>

П.Г. Пыриков, д-р техн. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2338-7458>

Е.А. Памфилов, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [H-1866-2019](https://orcid.org/0000-0002-1522-7246),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1522-7246>

А.Я. Данилюк, аспирант

В.В. Капустин, аспирант; ResearcherID: [AAT-1199-2020](https://orcid.org/0000-0002-5207-172X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-172X>

Брянский государственный технический университет, б-р 50 лет Октября, д. 7,
г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: rector@tu-bryansk.ru, pyrikovpg@mail.ru

Использование модифицированной древесины в различных парах трения лесопромышленных машин и технологического оборудования во многом обусловлено высокими показателями ее износостойкости, низким коэффициентом трения и хорошими диссипативными характеристиками. Положительные свойства композиционных материалов достигаются при использовании технологий объемного модифицирования и имплантирования антифрикционных и теплопроводящих элементов, а также путем формирования композита из измельченной древесины с добавлением модифицирующих присадок и объемного армирования. Расширение сферы использования композиционных материалов в конструкциях узлов с фрикционными парами скольжения делает необходимым проведение исследований их работоспособности и условий формирования высокого уровня триботехнических параметров: износостойкости, антифрикционности, теплостойкости и т.д. Недостаточность информации о влиянии факторов, обеспечивающих функциональные характеристики материалов на основе древесины, в том числе теплопроводности и вибропоглощения, существенно осложняет решение ряда конструкторских и технологических задач при разработке и изготовлении подшипниковых узлов. Поэтому целью работы являлось исследование условий контактного взаимодействия подшипников скольжения из древесно-металлических композиционных материалов с учетом реологических эффектов, а также выработка путей управления их триботехническими параметрами за счет изменения структуры, состава и фазового наполнителя. Для этого разработаны модели подшипников разных типов, позволяющие создавать во втулках и вкладышах регламентированное напряженно-деформационное состояние. Исследования работоспособности подшипников позволили отметить существенное проявление виброгасящих свойств при использовании в составе композита измельченных фракций, находящихся во взвешенном состоянии. Повышенные антифрикционные свойства достигаются при модифицировании древесины электролитической медью, а технологичность изготовления втулки подшипника – при формировании непосредственно на месте установки опоры. В отличие от большинства применяемых антифрикционных материалов древесина втулок сохраняет стабильность структуры в условиях объемного сжатия при отрицательных

и положительных температурах, а процессы износа, протекающие на контактных поверхностях древесно-металлических подшипников, сопровождаются уплотнением материала втулки. Последующее разрушение носит преимущественно усталостный характер, инициируемый динамикой колебаний и возмущений системы, поэтому важной частью дальнейших исследований является оценка релаксационной способности древесно-металлических композитов при ударно-вибрационном нагружении с оптимизацией их состава по данному критерию.

Для цитирования: Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г., Памфилов Е.А., Данилюк А.Я., Капустин В.В. Модифицирование древесины для создания подшипников скольжения лесопромышленных машин // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 5. С. 155–165. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165

Финансирование: Проект «Исследование и создание подшипников скольжения повышенной износостойкости на основе древесно-металлических композиционных материалов» в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект № 9.10677.2018/11.12).

Ключевые слова: триботехнические параметры, материалы на основе древесины, электролитическое меднение, износостойкость, теплопроводность, напряженное состояние.

Введение

Перспектива использования в конструкциях лесопромышленных машин и технологического оборудования узлов и конструктивных элементов с фрикционными парами скольжения делает актуальным проведение исследований их работоспособности и выработку путей ее повышения за счет создания новых конструкций и технологических основ обеспечения высокого уровня их триботехнических параметров: износостойкости, антифрикционности, теплоустойчивости и т.д. Разрозненность и неполнота сведений о влиянии факторов на технические свойства материалов на основе древесины в сочетании с необходимостью комплексного обеспечения функциональных характеристик, в том числе теплопроводности и виброгасящих свойств, существенно осложняют решение ряда проектно-конструкторских и технологических задач при их разработке и изготовлении.

При этом представляется перспективным осуществление глубокого модифицирования используемой древесины в ходе получения антифрикционных композиций, к числу которых относятся слоистая и измельченная древесина в комплексе с разного рода металлическими и неметаллическими составляющими: сталь–органоволокнит, олово–медь–алюминий; олово–цинк–свинец, капролон–фторопласт–эпоксидная смола–сталь, политетрафторэтилен–медь, бронза–тефлон–свинец; углерод-керамическими композитами; композитами на основе меди–олова–графита, меди–олова–хрома–никеля; свинцово-оловянистыми бронзами, фторопластами, серыми и антифрикционными чугунами, а также разного рода покрытиями (дисульфидом молибдена, графитом и т.д.) [1, 5, 11].

Вместе с тем, при большом спектре положительных свойств этих материалов, использование их в промышленности, в частности при изготовлении подшипников скольжения, существенно ограничивается недостатком информации, позволяющей назначать их оптимальные состав и структуру. Значительную сложность также вносит отсутствие сведений для выбора эффективных процессов формирования, включая механическую обработку, в связи с недостаточной стойкостью применяемых режущих инструментов.

Следует заметить, что использование древесины в качестве антифрикционного материала в подшипниках скольжения представляется возможным преимущественно в модифицированном состоянии, позволяющем обеспечить необходимые механические и теплофизические свойства [4, 11]. При этом из анализа их производства следует отметить ограниченный объем информации, касающийся аспекта проектирования антифрикционных материалов по критерию демпфирования и динамической стабильности [2, 3].

В отличие от большинства применяемых антифрикционных материалов древесина втулок сохраняет стабильность структуры в условиях объемного сжатия при отрицательных и положительных температурах (–80 до 150 °С), что выражается в исключении разупрочнения за счет пластической деформации в сухом состоянии и упругой – во влажном (выше предела гигроскопичности).

Обладея значительной эластичностью при сжатии при повышении температуры и влажности, древесина облегает шероховатости поверхности вала, увеличивая тем самым фактическую площадь контакта.

Процессы износа, протекающие на контактных поверхностях древесно-металлических подшипников, также выражаются в инициирующихся колебаниях и возмущениях динамического характера [12] и сопровождаются уплотнением материала втулки с его последующим разрушением, преимущественно усталостного характера. Существенным (до 20...30 % относительно первоначальных значений) колебаниям влажности даже модифицированной древесины сопутствует цикличность приработки и сложности сохранения условий взаимозаменяемости при монтаже и эксплуатации опор.

Тем не менее волокнистая структура древесины способна диссипировать энергию колебаний, передающуюся в объеме композита между волокнами, а также слоями ранней (менее плотной) и поздней древесины. Причем декремент колебаний имеет максимум в слоях, характеризующихся меньшим значением модуля упругости.

Поэтому целью исследования являлась выработка путей управления условиями контактного взаимодействия втулок и вкладышей подшипников скольжения с учетом реологических эффектов, возникающих в древесно-металлических композиционных материалах, с последующей подготовкой рекомендаций по формированию их структуры, фазового состава и антифрикционных свойств и по условиям технологической доэксплуатационной подготовки.

Объекты и методы исследования

Многообразие предлагаемых конструктивных решений подшипников скольжения, принятых в качестве объектов исследования, сгруппировано в четыре основные разновидности: подшипники скольжения линейного типа (ролики ленточных и цепных транспортеров, пальцы соединительных муфт, ползуны прессов, лесопильных рам, диски зубчатых колес, сальниковые уплотнения, уплотнительные кольца компрессоров); подшипники скольжения сферического типа (шарниры карданных передач, насосов, компрессоров), используемые при небольших скоростях в присутствии осевой нагрузки, колебаний и перекосов валов; подшипники скольжения упорного типа (опоры поворотных столов, опоры манипуляторов, вкладыши валов редукторов), воспринимающие преимущественно радиальные силы, и осевые (упорные) под-

шипники, рассчитанные на восприятие в основном осевого усилия; рычажные подшипники (элементы подвески автомобилей и тракторов), воспринимающие значительные радиальные и двухсторонние осевые усилия [8, 10].

Эксплуатация таких подшипников должна обеспечиваться в широких диапазонах температурного (от -70 до $+150$ °С) и механического (до $1,0$ кг/мм² – подпятники) нагружения при окружных скоростях вала до 5 м/с и значительной несоосности, в условиях граничной смазки, жидкостного и газового трения [7, 9].

С учетом отмеченного, разработана новая конструкция подшипников скольжения, предполагающая изготовление втулок из модифицированной электролитической медью древесины с последующим гнутьем и формированием в них технологических напряжений сжатия (см. рисунок).

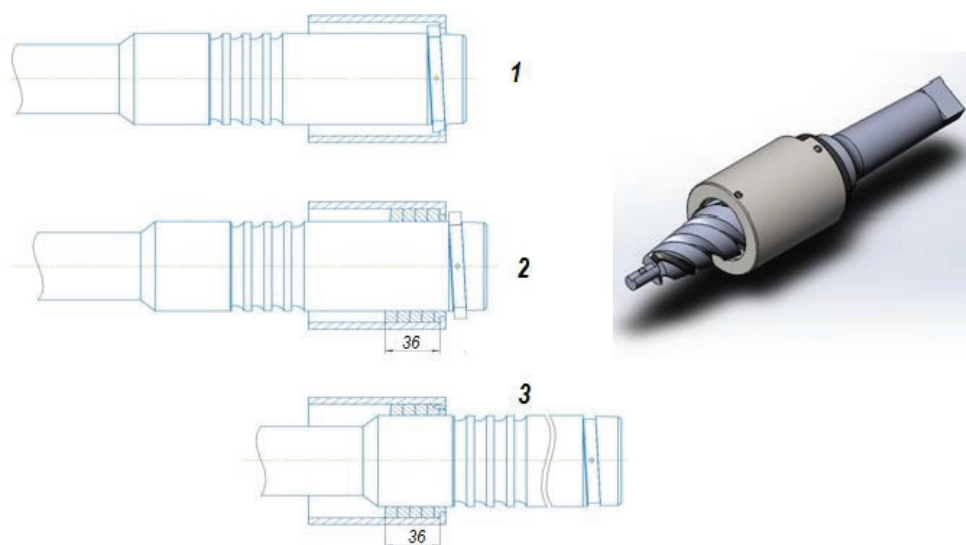


Схема формирования втулки подшипника с технологическими остаточными напряжениями: 1 – штифтование заготовки в винтовой канавке пуансона; 2 – формирование втулки при навивке заготовки;

3 – калибровка отверстия
The scheme of formation of a bearing sleeve with technological residual stresses: 1 – pinning a workpiece in a spiral flute; 2 – formation of a sleeve when winding on a workpiece; 3 – hole calibration

В разработанном способе обеспечивается изготовление втулки с формируемым уровнем напряженного состояния сжатия за счет подпрессовки и заневоливания заготовки в форме бруска при ее размещении в пазах резьбы пуансона между внутренней поверхностью обоймы и последующем свертывании пуансона в обойму. При этом разница между наружным диаметром пуансона и внутренней поверхностью обоймы соответствует номинальной толщине втулки; пуансон изготавливается по трехзаходной спирали в виде усеченного конуса, основание которого при полном завертывании в обойму обеспечивает расчетное радиальное давление подпрессовки, а витки резьбы в сечении имеют геометрию трапецевидного клина.

Для увеличения теплопроводности подшипника древесина втулки, предназначенная для прессования, подвергается модифицированию медью в

ходе электролиза. Перед модифицированием заготовки втулки вымачиваются в глицерине, после чего помещаются в резервуар с ацетоном и выдерживаются 20 ч под давлением 1,5 атм. После этого следуют выдержка заготовок в электролите в течение нескольких суток и электролиз, в ходе которого в разветвленных анатомических микрообъемах древесины восстанавливается медь. Образующиеся в ходе электролиза медные структурные составляющие композита обеспечивают теплопровод с поверхности трения «вал–втулка» по направлению к наружной обойме подшипника.

Испытания втулок подшипников на изнашивание проводились при числе оборотов вала в диапазоне от 300 до 900 мин⁻¹. В качестве критерия, ограничивающего продолжительность экспериментов, принимались признаки эффекта заклинивания вала при достижении уровня энергопотребления двигателя 0,95 % от номинального значения.

Теплопроводность образцов исследовалась по ГОСТ 21523.3.2–93 «Древесина модифицированная. Метод определения теплопроводности»; коэффициент трения – по ГОСТ Р 55951–2014 «Древесина модифицированная. Метод определения износостойкости и коэффициента трения»; состав продуктов изнашивания на поверхностях трения втулок устанавливался при проведении рентгеноспектрального анализа (РСА) согласно типовым методикам его реализации; контроль температуры в области трения в ходе испытаний осуществлялся термопарой.

Результаты исследования и их обсуждение

Некоторые сравниваемые параметры рассматриваемых подшипников скольжения приведены в таблице.

Параметры подшипников скольжения, прошедших испытания по схеме «втулка–металлический вал»

Показатель	Подшипник из прессованной древесины с нанокристаллической целлюлозой и никелевым покрытием [6]	Предложенный подшипник (см. рисунок)
Плотность, кг/м ³	1400	1450
Влажность, %	2	2
Содержание, %:		
никеля	5	–
меди	–	37
Теплопроводность, Вт/(м·К)	16	48
Коэффициент трения при $P = 3,5$ МПа, $v = 1,0$ м/с	0,05	0,02
Износ, мкм на 10 тыс. м пути	40	22
Допустимая температура в зоне трения, °С	160	185

Улучшение антифрикционных свойств пары трения «втулка–вал» при применении в качестве вкладыша предлагаемого древесно-металлического антифрикционного композита основано на явлении избирательного переноса. Содержание меди в модифицированной древесине в количестве до 40 % обеспечивает теплопроводность порядка 370...400 Вт/(м·К), что вполне достаточ-

но для отвода тепла из зоны трения и улучшения антифрикционных свойств на основе отмеченного эффекта.

Из многочисленных работ в области трибологии известно, что избирательный перенос в результате протекания химических и физико-химических процессов приводит к автокомпенсации износа и снижению трения, обеспечивает предохранение поверхности трения от окисления благодаря образованию восстановительной смазочной среды, осаждению продуктов износа в зоне контакта и формированию пленок, уменьшающих трение и усиливающих защиту поверхностей от износа. Избирательный перенос наблюдается в паре трения «медный сплав–сталь», что соответствует, в частности, структуре материала втулки разработанного подшипника скольжения.

Фактором, стимулирующим формирование граничной пленки, выполняющей антифрикционную функцию, является гидростатическое давление в древесине, обеспечиваемое предварительно созданными технологическими напряжениями во втулке.

Деструкция граничной пленки, происходящая в результате астационарных режимов работы подшипника, приводит к резкому возрастанию градиента температуры на контактных поверхностях. В этих условиях важно обеспечить состояние структуры втулки, характеризующееся повышенной теплопроводностью.

Изнашиваемыми структурными составляющими древесины оказываются главным образом стенки клеток, в которых основную механическую составляющую реализуют эластичная и высокопрочная на разрыв целлюлоза и хрупкий и прочный на сжатие лигнин совместно с пектиновыми веществами.

В области величин сближения, соответствующих насыщенному контакту, с ростом температуры трения происходит размягчение лигнина с повышением его пластичности. Коллоидная структура стенок клеток способствует аморфному внедрению лигнина в межмицеллярные пространства, вследствие чего имеет место рост плотности структуры до критических значений. Фактором, тормозящим данный процесс, является модифицирование древесины армирующей фазой (например, электролитически восстановленными металлами); при этом основная масса древесины, образуя в ходе изнашивания сеть микроскопических каналов, по которым циркулирует смазочный материал и уносятся продукты износа, обеспечивает эффект приработки.

Волокнистая структура клеточных стенок – макрофибрилл предотвращает попадание свободного и образующегося вследствие деструкции целлюлозы абразива в контактную среду, в результате чего он преимущественно шаржируется в полости мелких капилляров.

При взаимодействии с металлическим валом отмечается интенсивное изнашивание вкладышей, что, по-видимому, обусловлено разрывом связи целлюлозных макромолекул с повышением температуры выше допустимых значений одинаково для пород разной плотности. Учитывая, что в контактной зоне находятся гемицеллюлозы, лигнин и пектиновые вещества, при разрыве химической связи О-Н, взаимодействующей с модификатором смазки, образуется высокоориентированный граничный смазочный слой.

Для предотвращения деструкции древесины давление и скорость должны ограничиваться значениями: $P \leq 3,5$ МПа и $v \leq 3,0$ м/с (при температуре в контактной зоне около 150 °С).

Однако при этом данные параметры оказываются в 7–10 раз больше, чем у большинства антифрикционных материалов, что согласуется со сведениями, приведенными в исследовании [1]. Таким образом, стабильная работа подшипников из пластифицированной древесины обеспечивается при удельной нагрузке $P = 10$ МПа и окружной скорости вала $v \leq 1$ м/с (в качестве примера: для втулок из древесно-слоистых пластиков $P \leq 35$ МПа и $v \leq 8$ м/с).

Примечательной при этом оказывается влагопоглощающая способность древесины, позволяющая реализовать эффект самосмазывания (в условиях затрудненной маслоподачи, а также при нагрузках, требующих применения твердых смазочных материалов), что находит подтверждение также в работах [2, 13–16, 18, 19]. Анатомические составляющие древесины (клетки, поры, сосуды) и их микроструктура выступают в роли коллекторов смазочной среды. Влага (в данном случае масло) при определенной технологической подготовке [17] заполняет поры клеток и увлажняет их стенки с интенсивностью, зависящей от направления волокон, породы древесины, положения в стволе (ядро, заболонь).

Принимая во внимание, что сосуды в древесине составляют от 10 % (береза) и до 56 % (липа) общего ее объема; волокна либриформа – от 36 % (липа) до 75 % (береза) объема; у дуба длина сосудов 3,6 м, диаметр 0,03...0,5 мм, а объем сосудов от 7 до 43 % (для крупнослойной древесины дуба от 6 до 10 %, для мелкослойной (заболонной) – до 40 % общего объема), можно ожидать, что древесина обладает весьма высоким потенциалом в реализации эффекта самосмазывания. При этом ее заготовка для подшипниковых вкладышей должна проводиться с учетом особенностей формирования анатомических составляющих в вегетативный и поствегетативный периоды.

В процессе передачи усилия со стороны вала подшипника вследствие упругой деформации древесины маслоподача на поверхность трения происходит за счет капиллярного смачивания прозенхимных лигнифицированных волокон либриформа, выполняющего механическую функцию, «желатинозных» нелигнифицированных клеток и сосудов, выполняющих влагопроводящую функцию, со стороны технологического масляного канала. При возникновении максимального давления в центре дуги контакта при нагружении вкладыша со стороны вала в пределах угла охвата создается область сжимающих напряжений, а в горизонтальной плоскости – растягивающих, в которой капилляры либриформа, находящиеся в зоне, например, предварительно созданных (технологических) напряжений сжатия, восстанавливают первоначальную (естественную) форму, чем создают предпосылки для облегчения маслоподачи.

В условиях жидкостного трения сочетание в контактной зоне подшипника абразивной составляющей, масла, продуктов износа древесины и металлического вала и образующихся в результате химических процессов третичных фаз приводит к образованию на поверхности втулки и вала особых конверсионных структур, состав которых является отличным от структур материалов принятой пары трения. Это существенно изменяет закономерности изнашивания и оказывает влияние на ресурс подшипника.

Наблюдается способность древесины удерживать в структуре продукты изнашивания, повышая их концентрацию на поверхностях трения и образуемая при этом химически стабильные структуры в результате реакций с модификаторами смазки. Отмеченное приводит к достижению критического уров-

ня температуры, обуславливающего на изначально заданных режимах работы схватывание поверхностей, в особенности в диапазоне удельных давлений граничного трения, и в связи с этим требует уточнения проектных значений скорости и давления.

В результате проведения РСА идентифицировались состав и концентрации элементов на поверхностях трения образцов втулок подшипников в начальном состоянии, а также в процессе проведения триботехнических испытаний на изнашивание в условиях граничного и жидкостного трения, в том числе с присутствием абразива.

При модифицировании древесины дуба в электролите на основе цианидов отмечается несколько пониженная концентрация меди (63,2 %), по сравнению с кремнефтористым электролитом, а также некоторый прирост содержания железа (5,32 %).

Из полученных данных видно, что элементный состав образцов в области поверхности трения характеризуется содержанием железа, меди, кремния и цинка. Причем, сравнивая результаты РСА до и после испытаний втулок, установлено повышенное содержание железа в структуре материала образцов, что, по-видимому, связано с насыщением поверхностного слоя древесины продуктами износа при контакте со стальным валом.

Для всех модифицированных состояний образцов древесины, прошедших испытания, установлено существенное снижение концентрации никеля, калия, кальция, хрома и свинца. Можно предположить, что при повышенных температурах и давлениях в контактной зоне инициируются процессы взаимодействия атомов указанных элементов с молекулами смазки, в результате чего образуются третичные соединения, формирующие конверсионные пленочные слои.

На стадии испытаний, предшествующей потере подшипниками работоспособности, прослеживается разрушение структуры поверхностных слоев, принимающее характер близкий к усталостному. Образующиеся на поверхности микротрещины способствуют отделению некоторых объемов материала, химический состав которого представлен продуктами реакций смазки с кислотами, продуктами изнашивания и элементами, входящими в состав древесины. Обладая повышенной твердостью и оставаясь на поверхностях контакта, они инициируют процессы разрушения, характеризующиеся резко возрастающей интенсивностью развития.

Выводы

1. Разработана новая конструкция подшипника скольжения, имеющая форму втулки, из модифицированной электролитической медью древесины, отличающаяся технологически формируемым уровнем напряжения сжатия. Такой подшипник обладает повышенными триботехническими параметрами: износостойкостью, теплостойкостью, низким коэффициентом трения.

2. Экспериментально установлено, что в условиях жидкостного трения в результате химических процессов на поверхностях втулки из модифицированной древесины и стального вала происходит образование особых конверсионных структур, содержащих железо, медь, кремний и цинк. Это существенно изменяет закономерности изнашивания и способствует повышению работоспособности подшипника.

3. Стабильная работа подшипника из модифицированной древесины обеспечивается при удельной нагрузке $P = 10$ МПа и окружной скорости вала $v \leq 1$ м/с в присутствии жидкостной смазки. В условиях граничного трения температура резко возрастает, что может привести к схватыванию поверхностей и выходу из строя узла трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аксенов А.А., Малюков С.В. Исследования зависимости триботехнических свойств сильно нагруженных подшипников из модифицированной древесины // Лесотехн. журн. 2016. № 1. С. 168–184. [Aksenov A.A., Malyukov S.V. Research of Dependence of Tribological Properties of Highly Loaded Bearings Made of Modified Wood. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2016, no. 1, pp. 168–184]. DOI: [10.12737/18740](https://doi.org/10.12737/18740)

2. Буренин В.В. Самосмазывающиеся подшипники скольжения // Приводная техника. 2002. № 6. С. 45–56. [Burenin V.V. Self-Lubricating Plain Bearings. *Privodnaya tekhnika*, 2002, no. 6, pp. 45–56].

3. Геккер Ф.Р. Динамическая модель узлов трения, работающих без смазочных материалов // Трение и износ. 1993. № 6. С. 1051–1058. [Gekker F.R. Generalized Dynamic Model of ‘Dry’ Friction Units. *Treniye i iznos* [Journal of Friction and Wear], 1993, no. 6, pp. 1051–1058].

4. Купчинов Б.И., Белый В.А., Нешин А.И. Антифрикционный самосмазывающийся материал повышенной теплостойкости на основе древесины // Фрикционные и антифрикционные пластмассы. М.: МЛНТП, 1975. С. 62–66. [Kupchinov B.I., Belyu V.A., Neshin A.I. Antifriction Self-Lubricating Material of Increased Heat Resistance Based on Wood. *Friction and Antifriction Plastic Materials*. Moscow, MLNTP Publ., 1975, pp. 62–66].

5. Памфилов Е.А., Симин А.П., Шевелева Е.В. Исследование древесно-металлических композиционных материалов на основе модифицированной древесины // Деревообраб. пром-сть. 2004. № 1. С. 12–15. [Pamfilov E.A., Simin A.P., Sheveleva E.V. The Study of Wood-Metal Composite Materials Based on Modified Wood. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 2004, no. 1, pp. 12–15].

6. Патент № 2539022 Российская Федерация, МПК F16C 17/12, F16C 33/12, F16C 33/18. Подшипник скольжения и способ изготовления: № 2013131631/11: заявл. 09.07.2013; опубл. 10.01.2015 / Шамаев В.А., Медведев И.Н., Галаворян Р.А., Манаев В.А. [Shamaev V.A., Medvedev I.N., Galavoryan R.A., Manaev V.A. *Plain Bearing and Method of Its Manufacture*. Patent RF no. RU 2539022 C1, 2015].

7. Прокофьев Г.Ф., Дундин Н.И., Иванкин И.И., Банников А.А. Применение аэростатических опор при совершенствовании ленточнопильных станков для продольной распиловки древесины // Вестн. машиностроения. 2004. № 8. С. 9–12. [Prokofiev G.F., Dundin N.I., Ivankin I.I., Bannikov A.A. The Use of Aerostatic Bearings in the Improvement of Bandsaw Machines for Longitudinal Sawing of Wood. *Vestnik mashinostroyeniya* [Russian Engineering Research], 2004, no. 8, pp. 9–12].

8. Симин А.П. Повышение долговечности вкладышей подшипников скольжения, изготавливаемых из композиционных материалов на основе растительных полимеров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Брянск, 2003. 20 с. [Simin A.P. *Increasing the Durability of Plain Bearing Liners Made of Composite Materials Based on Plant Polymers*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Bryansk, 2003. 20 p.].

9. Смольяков И.А., Ясенов В.В., Белокуров В.П. Износостойкость антифрикционных материалов на основе модифицированной древесины // Технология и оборудование деревообработки в XXI веке: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГЛТА, 2003. С. 158–160. [Smolyakov I.A., Yasenov V.V., Belokurov V.P. Wear Resistance of Antifriction Materials Based on Modified Wood. *Technology and Equipment for Woodworking in*

the 21st Century: Inter-University Collection of Academic Papers. Voronezh, VGLTA Publ., 2003, pp. 158–160].

10. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-ть, 1964. 351 с. [Khukhryanskiy P.N. *Pressing of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 351 p].

11. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины: монография. М.: ФЛИНТА, 2013. 448 с. [Shamaev V.A., Nikulina N.S., Medvedev I.N. *Wood Modification: Monograph*. Moscow, FLINTA Publ., 2013. 448 p.].

12. Bos J., Moes H. Frictional Heating of Tribological Contacts. *Journal of Tribology*, 1995, vol. 117, iss. 1, pp. 171–177. DOI: [10.1115/1.2830596](https://doi.org/10.1115/1.2830596)

13. Bowden F.P., Tabor D. *The Friction and Lubrication of Solids*. Oxford, Clarendon Press, 1986. 374 p.

14. Kennedy F.E. Thermal and Thermomechanical Effects in Dry Sliding. *Wear*, 1984, vol. 100, iss. 1-3, pp. 453–476. DOI: [10.1016/0043-1648\(84\)90026-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(84)90026-7)

15. Komanduri R., Hou Z.B. Analysis of Heat Partition and Temperature Distribution in Sliding Systems. *Wear*, 2001, vol. 251, iss. 1-12, pp. 925–938. DOI: [10.1016/S0043-1648\(01\)00707-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00707-4)

16. Komanduri R., Hou Z.B. Thermal Analysis of Dry Sleeve Bearings – A Comparison between Analytical, Numerical (Finite Element) and Experimental Results. *Tribology International*, 2001, vol. 34, iss. 3, pp. 145–160. DOI: [10.1016/S0301-679X\(00\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(00)00144-4)

17. Szeri A.Z. *Fluid Film Lubrication*. Cambridge, Cambridge University Press, 2011. 547 p.

18. Tian X., Kennedy F.E. Contact Surface Temperature Models for Finite Bodies in Dry and Boundary Lubricated Sliding. *Journal of Tribology*, 1993, vol. 115, iss. 3, pp. 411–418. DOI: [10.1115/1.2921652](https://doi.org/10.1115/1.2921652)

19. Tian X., Kennedy F.E. Maximum and Average Flash Temperatures in Sliding Contact. *Journal of Tribology*, 1994, vol. 116, iss. 1, pp. 167–174. DOI: [10.1115/1.2927035](https://doi.org/10.1115/1.2927035)

MODIFYING WOOD FOR CREATION PLAIN BEARINGS OF TIMBER MACHINES

G.A. Pilyushina, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-1699-2019](https://orcid.org/0000-0002-2422-0919), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2422-0919>

P.G. Pyrikov, Doctor of Engineering, Prof.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2338-7458>

E.A. Pamfilov, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [H-1866-2019](https://orcid.org/0000-0002-1522-7246), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1522-7246>

A.Ya. Danilyuk, Postgraduate Student

V.V. Kapustin, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAT-1199-2020](https://orcid.org/0000-0002-5207-172X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-172X>

Bryansk State Technical University, b-r 50 let Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: rector@tu-bryansk.ru, pyrikovpg@mail.ru

The use of modified wood in different friction pairs of timber machines and processing equipment is largely due to its high wear resistance, low coefficient of friction and good dissipative characteristics. The positive properties of composite materials are achieved by using technologies of volumetric modification and implantation of antifriction and heat-conducting elements, as well as by forming a composite of crushed wood with the addition of modifying additives and three-dimensional reinforcement. The expansion of the scope of using composite materials in the designs of units with sliding friction pairs necessitates carrying out research on their performance and formation conditions for high level tribotechnical parameters: wear resistance, antifriction, heat resistance, etc. Lack of information on the effect from the factors providing the functional characteristics of wood-based materials,

including thermal conductivity and vibration absorption significantly complicates the problem analysis in design and technology when developing and producing bearing joints. Therefore, the purpose of this work was studying the conditions of contact interaction of plain bearings made of wood-metal composite materials, allowing for rheological effects, and developing the ways of control their tribotechnical parameters by changing the structure, composition and phase filler. Models of bearings of different types, which allow creating a regulated stress-strain state in sleeves and liners, were developed for these purposes. Research of the bearings performance made it possible to find vibration-damping properties when using suspended crushed fractions in the composite. Increased antifriction properties are achieved in the process of wood modification with electrolytic copper, while the manufacturability of a bearing sleeve is achieved when the support is formed directly at the installation site. Unlike most of the used antifriction materials, the bushings wood maintains the stability of structure in conditions of volumetric compression at negative and positive temperatures, and the wear processes occurring on the contact surfaces of wood-metal bearings are followed by the compaction of the sleeve material. The subsequent destruction is predominantly of fatigue nature, initiated by the dynamics of vibrations and disturbances of the system; therefore, an important part of further research is the assessment of the relaxation ability of wood-metal composites under shock-vibration loading with optimization of their composition according to this criterion.

For citation: Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Pamfilov E.A., Danilyuk A.Ya., Kapustin V.V., Modifying Wood for Creation Plain Bearings of Timber Machines. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 5, pp. 155–165. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165

Funding: The research is carried out under the project “Research and Creation of Plain Bearings of Increased Wear Resistance Based on Wood-Metal Composite Materials” within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project No. 9.10677.2018/11.12).

Keywords: tribotechnical parameters, wood-based materials, electrolytic coppering, wear resistance, thermal conductivity, stress state.

Поступила 20.09.19 / Received on September 20, 2019
