

674
Б83

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 674.049.2+621.891

ВРУБЛЕВСКИЙ Владислав Брониславович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРЦОВО-
ПРЕССОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И
СОЗДАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ НЕЕ
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

05.21.05 – Древесиноведение, технология и оборудование
деревообработки

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

+

Минск 2002

Работа выполнена в Белорусском государственном университете транспорта на кафедре деталей машин и подъемно-транспортных механизмов

Научный руководитель: доктор технических наук
Довгяло В.А. (БелГУТ, кафедра
деталей машин и подъемно-
транспортных механизмов);

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Вавилов А.В.
(БНТУ, кафедра строительных и
дорожных машин);

кандидат технических наук,
доцент Бучнева Е.А.
(БГТУ, кафедра технологии клееных
материалов и плит)

Оппонирующая организация: Институт механики
металлополимерных систем
им. В.А. Белого НАНБ

Защита состоится "4" июня 2002 г. в 14⁰⁰ часов на заседании
совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в Белорусском
государственном технологическом университете по адресу: 220050,
г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

Телефон ученого секретаря совета: 227-83-41

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан "3" мая 2002 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций



С.П. Мохов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Эффективное внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, использование местных ресурсов являются важнейшими задачами для предприятий Республики Беларусь. За последние годы создан новый класс недефицитных широкодоступных износостойких антифрикционных самосмазывающихся материалов на основе прессованной древесины, которые успешно работают в абразивно-агрессивных и влажных средах. Подшипники скольжения из этих материалов при работе в идентичных условиях во многих случаях превосходят по долговечности подшипники качения и скольжения из бронзы, текстолита, капрона и других материалов в 2-7 раз. Их внедрение позволит не только повысить ресурс и эффективность работы различных машин и механизмов, но и сэкономить десятки тысяч подшипников качения, сотни тонн металла, отказаться от импорта некоторых подшипников качения и антифрикционных материалов.

Однако до настоящего времени их широкое внедрение сдерживается потерей подшипниками формоустойчивости при эксплуатации в условиях переменной влажности и в воде, сложным и длительным процессом изготовления стабильных по размерам подшипников, требующим металлоемкой и энергоемкой оснастки, а также отсутствием высокопроизводительного оборудования для их производства.

Разработка и исследование энергосберегающего способа деформирования древесины без предварительных операций влаго- и термообработки и создание на его основе эффективного оборудования для изготовления подшипников скольжения подтверждают актуальность поиска новых научно-технических и технологических решений в данном направлении.

Связь работы с крупными научными программами и темами. Исследования выполнены по заказу Министерства промышленности и Комитета по науке и технологиям РБ по теме «Разработать, исследовать износостойкий самосмазывающийся подшипник скольжения и освоить его серийное производство», входившей составной частью в государственную программу ГР №1997455, а также по госбюджетным темам Министерства образования Республики Беларусь: «Исследование триботехнических характеристик природных композитов, модифицированных антифрикционными полимерами» – ГР №19962682; «Поиск и

319ар

расчет математической модели торцового гнутья древесины» – ГБ №19981677; «Разработка основных принципов выбора типа и размеров самосмазывающихся подшипников скольжения» – ГР №19991082; «Моделирование и оптимизация технологических процессов уплотнения древесины для получения износостойких подшипников скольжения» – ГР №20001398.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является разработка и исследование способа торцово-прессового деформирования древесины для его использования в оборудовании для промышленного изготовления подшипников скольжения узлов трения машин и механизмов. Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс торцово-прессового деформирования древесины, исключая энергоемкую и продолжительную влаготермообработку заготовок.

2. Разработать технологическую оснастку для качественного торцового деформирования заготовок во втулки и их одновременного прессования.

3. Создать высокопроизводительное оборудование для изготовления подшипников скольжения в производственных условиях.

4. Разработать методику теплового расчета по определению граничных условий работоспособности подшипников на основе древесины.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являются способ торцово-прессового деформирования древесины и подшипники скольжения, изготовленные на его основе, предметом исследования – технологический процесс и оборудование для изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся (ПСС).

Методология и методы проведенного исследования основаны на использовании системного теоретически-экспериментального подхода. Для теоретического анализа процесса беспрочного деформирования древесины с обоснованием зависимости ее прочности от содержания гигроскопической влаги построена модель субмикроскопического и молекулярного строения стенки между двумя соседними капиллярами, увязанная с обоснованием зависимости прочности древесины от степени ее гигроскопичности; при изучении торцового деформирования древесины был предложен дискретный элемент, обеспечивающий качественное одновременное торцово-прессовое объемное деформирование древесины; при расчете нагрузочной способности подшипников скольжения использовался тепловой расчет узла трения. В экспериментальном разделе

работы использованы методы определения работоспособности подшипников на лабораторных стендах БелГУТа, ИММС НАНБ, Государственной сельскохозяйственной машиноиспытательной станции, АП ГПЗ.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Научная новизна проведенных исследований заключается в следующем:

- впервые обоснована возможность деформирования воздушно-сухой древесины с учетом ее прочности и влажности, что позволило исключить применение энергоемкой влаготермообработки;
- разработана модель торцового деформирования древесной заготовки с ее одновременным прессованием дискретным элементом и получением качественных вкладышей за один прием; установлена взаимосвязь геометрических характеристик древесной заготовки и дискретного элемента, обеспечивающая получение заданной степени прессования вкладыша по всему объему;
- разработан энергосберегающий технологический процесс получения стабильных по размерам износостойких ПСС, надежно работающих в абразивно-агрессивных и влажных средах.

Научная новизна и достоверность полученных материалов подтверждены двумя патентами РБ, а также проведенными в работе аналитическими и экспериментальными исследованиями и расчетами, обсуждением всех материалов и своевременной их публикацией в открытой печати.

Практическая значимость полученных результатов. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили создать оборудование для изготовления ПСС, работающее в полуавтоматическом режиме, разработать методику теплового расчета по определению граничных условий их работоспособности, позволяющую по диаметру вала, частоте вращения и нагрузке, действующей на ПСС, принять решение о возможности использования их в данном узле трения или внесении некоторых конструктивных изменений. Рассчитан и экспериментально установлен зазор между валом и ПСС, обеспечивающий его высокую работоспособность в режиме самосмазки. Затраты на производство ПСС в 1,5-2 раза ниже, чем на традиционные подшипники качения и подшипники скольжения, а срок службы в 2-3 и более раз больше. Подшипники, изготовленные по данному способу, прошли государственные, стендовые и промышленные испытания, в результате которых установлено, что они имеют высокую работоспособность и износостойкость при работе в абразивно-агрессивных и влажных средах и рекомендованы для широкого внедрения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- новая модель торцово-прессового деформирования древесины с использованием дискретного элемента, обеспечивающая получение качественных вкладышей с заданной степенью прессования для подшипников за один технологический прием;
- новый энергосберегающий процесс получения износостойких ПСС, заменяющих подшипники качения и традиционные подшипники скольжения;
- новая конструкция установки-полуавтомата, обеспечивающая качественное торцово-прессовое деформирование вкладышей с запрессовкой их в корпус подшипника и имеющая высокую производительность;

Личный вклад соискателя. Диссертация явилась результатом личной работы автора. Им проведен анализ ранее существовавших способов прессования древесины и обоснован новый способ получения вкладышей для подшипников скольжения. На основе разработанной модели торцового деформирования с одновременным прессованием древесины создано оборудование для серийного изготовления малогабаритных износостойких ПСС, разработан энергосберегающий технологический процесс, позволяющий исключить применение продолжительной влаготермообработки. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследований, планировании и проведении экспериментов, анализе полученных результатов и подготовке публикаций.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований и разработок по теме диссертации докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях, симпозиумах и семинарах: «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 1997, 2000); «Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии» (Гродно, 1998); «Экология и молодежь» (Гомель, 1998); «Актуальные проблемы развития транспортных систем» (Гомель, 1998); «Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество» (Минск, 1998); «О природе трения твердых тел» (Гомель, 1999); «Прогрессивные технологии в машиностроении» (Одесса, 2000); «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономических и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения» (Минск, 2000); «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения» (Полоцк, 2001); *Symposium Mechaniki Zniszczenia Materialow I Konstrukcji* (Augustow, 2001).

Опубликованность результатов. Основные результаты исследований и разработок опубликованы в 17 печатных работах, в том числе: в 1 коллективной монографии (324 стр.), 6 статьях в журналах (21 стр.), 1 статье в сборнике (2 стр.), 2 материалах конференций (11 стр.) (1 за рубежом), 5 тезисах докладов научных конференций (9 стр.) (1 лично) и 2 патентах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики, 5 глав, выводов, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации - 128 листов машинописного текста. Работа содержит 62 рисунка, 15 таблиц, 117 литературных источников и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит обзор работ отечественных и зарубежных исследователей в области прессования, деформирования древесины, пропитки ее антифрикционными модификаторами, оборудования и оснастки для изготовления из нее подшипников скольжения, результаты их испытаний в лабораторных и производственных условиях, которые отражены в трудах П.Н. Хухрянского, В.Ф. Анненкова, А.В. Апостола, В.А. Белого, Г.В. Берзиньша, Н.И. Винника, В.Е. Вихрова, В.И. Врублевской, С.В. Генеля, Ю.В. Гнусова, Т.А. Дарзиньша, В.В. Денисенко, В.М. Заложных, Б.И. Купчинова, А.И. Калниньша, Г.Д. Новикова, Н.Т. Нысенко, Б.И. Огаркова, В.В. Решетняка, В.Г. Родненкова, И.С. Самодурова, В.Н. Савицкого, В.П. Скрупскиса, А.К. Сидоренко, А.И. Смольякова, А.Е. Чаадаева, В.А. Шамаева и др.

Из приведенного обзора сделан вывод, что подшипники скольжения из прессованной древесины одноосного (ДП-О), контурного прессования (ДП-К) и торцового гнутья с поперечным прессованием (ДП-ТГ) при работе в абразивно-агрессивных средах превосходят по долговечности и работоспособности подшипники качения и скольжения из традиционных материалов. Отмечено, что подшипники скольжения из ДП-О и ДП-ТГ, пропитанные модифицированными смазками, работают в режиме самосмазки в течение всего срока эксплуатации, обладают высокой износостойкостью и бесшумны в работе.

Однако, как показывает анализ имеющихся данных, древесина перед прессованием или торцовым гнутьем должна быть прогрета или распарена и процесс прессования требует энерго- и металлоемкого оборудования. Кроме того, изделия из прессованной древесины (втулки, направляющие, ползуны и др.) имеют ограниченное применение,

поскольку в условиях переменной влажности происходит распрессовка древесины и выход из строя узла трения (заклинивание, защемление).

В известных установках для торцового гнутья древесной заготовки во втулку гибким элементом является металлическая лента (шинка). Она не обеспечивает качественное гнутье и полное смыкание сторон заготовки во втулку, что обуславливает ее растрескивание по наружной поверхности при переходе в конический приемник. Кроме того, лента в течение непродолжительного времени работы растягивается, вызывая увеличение размера заготовки по наружной поверхности и появление на ней микротрещин. Поэтому такие установки не нашли применения из-за сложности и несовершенства торцового деформирования.

Известны различные способы изготовления подшипников скольжения из прессованной древесины набором из брусков в "бочку" или "ласточкин хвост"; из трапециевидных сегментов; из прямоугольных торцовых пластин; из прессованных секторов кольца в металлическом корпусе. Однако процессы изготовления таких подшипников сложны, продолжительны, состоят из многих достаточно трудоемких и энергоемких операций, требуют больших затрат на механическую обработку, применения мощного прессового нестандартного оборудования и металлоемкой оснастки.

Оценка теоретических и практических достижений ученых в этой области позволила усовершенствовать технологию получения ДП, создать новый способ конструирования и изготовления формоустойчивых износостойких ПСС.

Вторая глава включает теоретические исследования процесса деформирования древесины без применения влаготермообработки и получения качественных вкладышей торцовым деформированием с одновременным прессованием.

Обоснован выбор породы древесины для изготовления ПСС – березы быстрорастущей породы, которая по механическим свойствам превосходит сосну и осину и имеет равномерное распределение капиллярно-сосудистой системы по всему объему, что обуславливает одинаковое распределение в ней модификатора.

Анализ работоспособности подшипников скольжения, изготовленных различными способами, показал, что подшипники, работающие торцовой поверхностью, в 3-9 раз превосходят по износостойкости подшипники контурного прессования, работающие поперек волокон. Кроме того, у последних смазка поперек волокон не поступает в

контактную зону, и они не работают в режиме самосмазки, а во влажных условиях разбухают и защемляют вал.

Подшипники, работающие торцовой поверхностью, имеют вдоль волокон наибольшие прочностные свойства и теплопроводность, минимальное изменение размеров при влагопоглощении и усушке, наилучшие условия самосмазывания. Поэтому для исследований был выбран способ торцового деформирования древесины.

При этом ставились задачи:

- 1) исключить из техпроцесса энергоемкую влаготермообработку;
- 2) исследовать причины, вызывающие появление микротрещин по наружной поверхности, и обосновать возможность их устранения;
- 3) обеспечить одновременно с торцовым деформированием процесс прессования, исключая осевое прессование, а следовательно, и разбухание втулки вдоль оси при эксплуатации.

Прессование древесины происходит за счет деформирования стенок капилляров, сопровождающегося сужением их полостей.

Анализ зависимости прочности древесины от содержания связанной влаги (рисунок 1) и субмикроскопического строения стенки между соседними капиллярами позволил сделать предположение, что деформирование клеточных стенок можно производить в воздушно-сухом состоянии за счет подвижности межклеточного вещества.

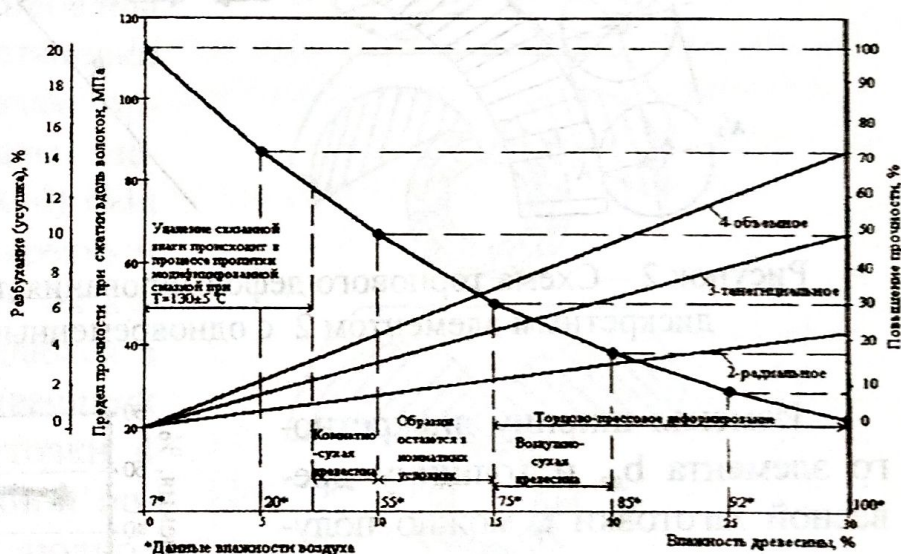


Рисунок 1 — Зависимость прочности (1) и разбухания (2-4) древесины от ее влажности

Как видно из рисунка 1, удаление связанной влаги из древесины и уменьшение ее относительной влажности с 30 до 15 – 20 % (т. е. до состояния воздушно-сухой древесины) сопровождается небольшим (в 1,2 – 1,25 раза) повышением ее прочностных характеристик при незначительном снижении деформационной способности. Дальнейшее уменьшение влажности приводит уже к более существенному (в 1,6 – 1,8 раза) повышению прочности древесины, что затрудняет ее деформирование при содержании влаги менее 20 %. Эта особенность взаи-

модействия влаги с древесиной позволит осуществить ее качественное деформирование в интервале влажности 15 – 20 %, не прибегая к длительной влаготермообработке с последующей сушкой.

Установлено, что для предотвращения разрушения стенок капилляров необходимо обеспечить одновременное с гнущем сжатие их полостей. Это возможно, заменив упомянутую выше шинку гибким дискретным элементом (рисунок 2), позволяющим осуществить одновременное с торцовым деформированием прессование по наружной поверхности. Размер нейтральной линии АВ при изгибе элемента в кольцо остается постоянным, а размер A_1B_1 по внутренней поверхности уменьшается, обеспечивая прессование заготовки по наружной поверхности.

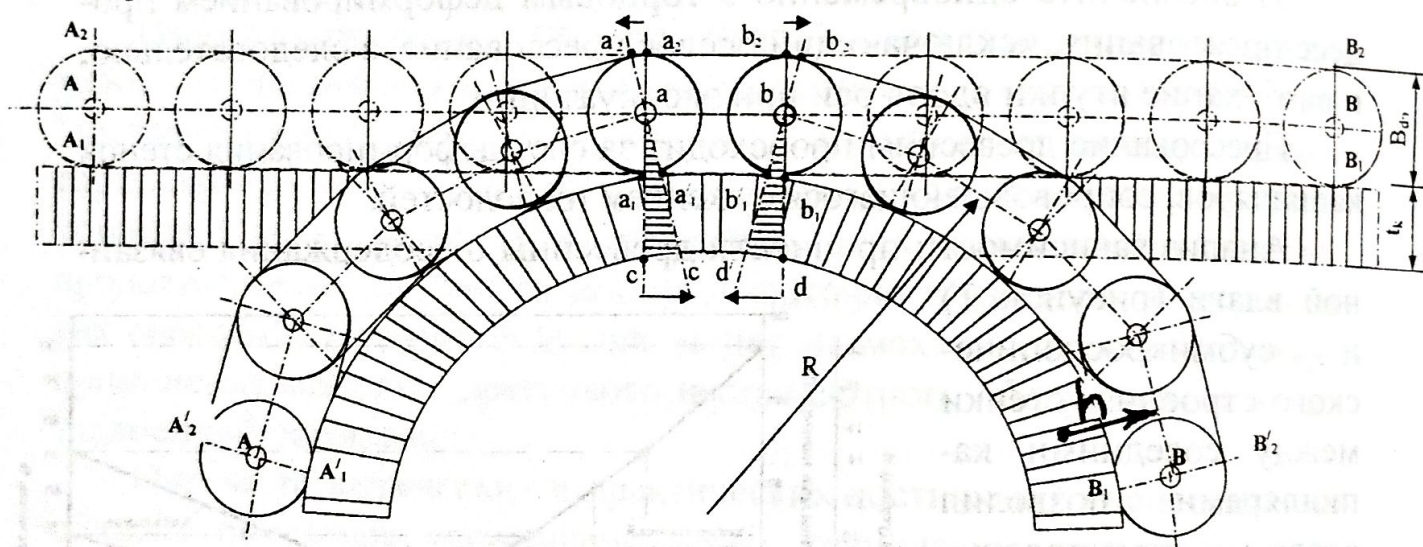


Рисунок 2 – Схема торцового деформирования древесной карточки 1 дискретным элементом 2 с одновременным прессованием

Изменяя ширину дискретного элемента $b_{дэ}$ и толщину древесной заготовки t , можно получить заданную степень прессования втулки по наружному и внутреннему диаметрам, которая составляет в интервалах 8 – 25 % и 45 – 55 % соответственно (рисунок 3).

Степень прессования в любой точке заготовки

$$\varepsilon = \frac{h}{R}, \text{ где } h - \text{расстояние рас-}$$

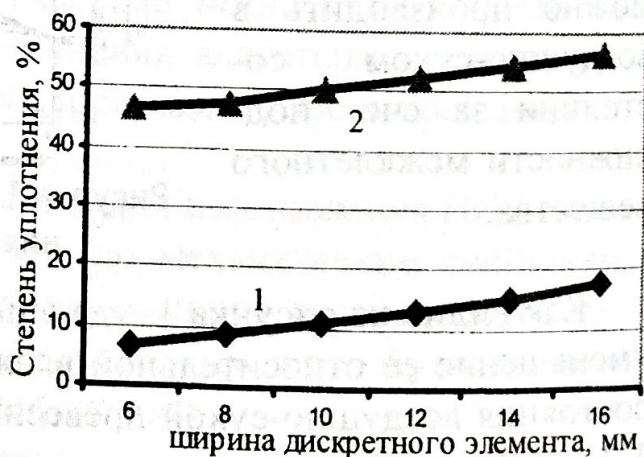


Рисунок 3 – Зависимость степени прессования древесной втулки по наружному 1 и внутреннему 2 диаметрам от ширины дискретного элемента ПСС 205

смагиваемого слоя от нейтральной окружности дискретного элемента АВ; R – радиус нейтральной окружности дискретного элемента.

Третья глава посвящена разработке высокопроизводительного оборудования для торцово-прессового деформирования (ТПД) заготовок во втулки за один технологический прием, созданию конструкции износостойких подшипников скольжения, заменяющих подшипники качения и подшипники скольжения из традиционных материалов, приданию им стабильности размеров и разработке технологического процесса изготовления ПСС.

В результате проведенных исследований и опытно-конструкторских работ при выполнении отдельного проекта для государственных нужд РБ, финансируемого Министерством промышленности и Комитетом по науке и технологиям, были разработаны, сконструированы и изготовлены новые установки полуавтоматов. В рабочем органе установки торцового деформирования (рисунок 4) был использован гибкий дискретный элемент 1, закрепленный на кулачках 2, которые вращаются в копирах 3, обеспечивающих равномерное ТПД заготовки 4 по внутренней и наружной поверхностям, а также полное смыкание ее сторон во втулку 5 за один технологический прием.

ТПД древесных заготовок осуществляется без предварительной влаготермообработки при температуре окружающего воздуха с содержанием только связанной влаги и позволяет получать втулки высокого качества без микротрещин. По окончании цикла ТПД древесная втулка выпрессовывается в корпус подшипника.

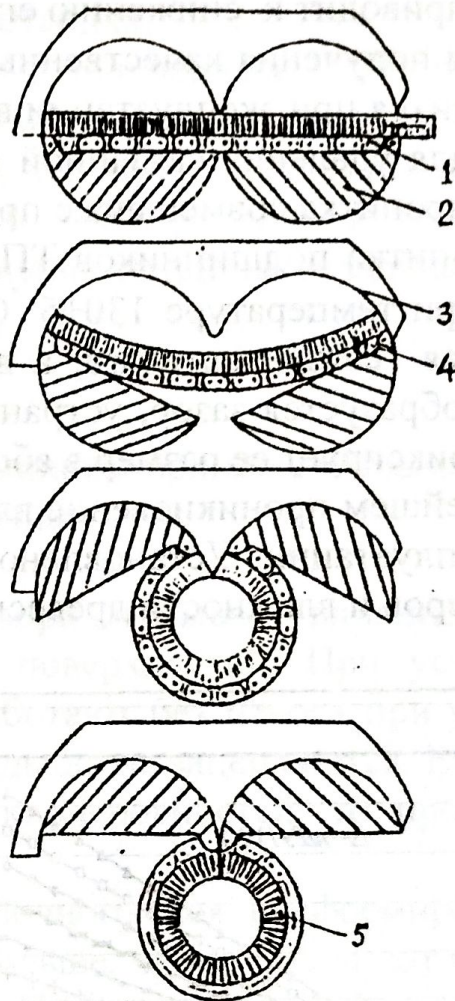


Рисунок 4 – Схема процесса ТПД древесной карточки во втулку: 1 – дискретный элемент; 2 – кулачок; 3 – копир; 4 – карточка; 5 – втулка

На основании результатов исследований предложена новая конструкция подшипника, обладающего технологичностью при изготовлении, а в эксплуатации – износостойкостью, надежностью, долговечностью и обеспечивающего стабильные размеры при изменении влажности окружающей среды. Данные подшипники скольжения обладают полной взаимозаменяемостью с традиционными подшипниками качения и скольжения.

Увеличение толщины заготовок обеспечивает дополнительную экономию металла за счет уменьшения толщины корпуса подшипника, что приводит к снижению его массы.

Для получения качественных подшипников скольжения самосмазывающихся при эксплуатации в разных условиях они должны пройти сушку для удаления связанной влаги и пропитку в смазке. В данном случае пропитка совмещена с процессом сушки.

Пропитка подшипников ТПД модифицированной смазкой происходит при температуре 130 ± 5 °С. При этом из древесины полностью удаляется связанная влага, а в стыке сторон согнутой карточки во втулку образуется зазор, устраняемый установкой компенсатора, который фиксирует ее размер в абсолютно сухом состоянии и исключает в дальнейшем проникновение влаги в межмолекулярные пространства при эксплуатации. Установлено, что размеры компенсатора зависят от размеров и влажности древесной втулки (рисунок 5, таблица 1).

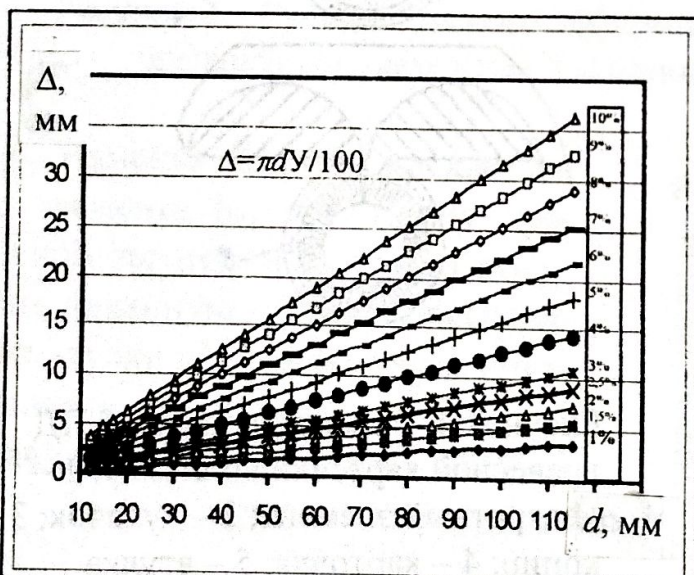


Рисунок 5 – Зависимость величины зазора (компенсатора) Δ от диаметра втулки d и тангенциальной усушки U

Таблица 1 – Зависимость величины усушки (разбухания) древесины от ее влажности

Влажность втулки, %	Усушка, %	
	тангенциальная U_t	радиальная U_r
30	10	5
27	9	
24	8	4
21	7	
18	6	3
15	5	2,5
12	4	2
9	3	1,5
6	2	1
3	1	

Применение дискретного элемента для ТПД, разработка новой конструкции ПСС, совмещение процесса удаления связанной влаги с пропиткой позволили разработать новый высокопроизводительный и энергосберегающий способ изготовления стабильных по размеру ПСС.

В четвертой главе даны расчеты оптимального зазора между валом и ПСС, являющегося одним из основных факторов, обуславливающих их работоспособность и долговечность; приведены данные исследований нагрузочной способности подшипников, а также результаты их испытаний на различных стендах.

При определении зазора для ПСС, полученных ТПД древесных заготовок во втулку, необходимо учитывать гигроскопичность (влагопоглощение) древесины. Установлено, что при изменении содержания связанной влаги во вкладыше от 0 до 30 % его разбухание вдоль волокон составляет 0,1 – 0,3 %, т. е. увеличение толщины вкладыша $Y_{//}$ будет находиться в пределах

$$Y_{//} = 0,001t \dots 0,003t, \quad (1)$$

где t – толщина вкладыша.

Следовательно, по диаметру подшипника при максимальном влагопоглощении зазор уменьшается на величину

$$Y^3_{//} = 2(0,001t \dots 0,003t). \quad (2)$$

В то же время на величину зазора оказывает влияние размер микронеровностей контактирующих поверхностей. При установившемся режиме эксплуатации ПСС работают без износа при условии, когда микронеровности цапфы и вкладыша не зацепляются. Если имеет место зацепление единичных микронеровностей, то происходит заметный нагрев и износ ПСС.

Поэтому толщина граничного смазочного слоя h , сформированного в процессе приработки, должна быть больше, чем сумма высот микронеровностей цапфы R_{z1} и вкладыша R_{z2} . При определении $h_{\text{мин}}$ необходимо вводить коэффициент безопасности $K = 2,5 \dots 5$, который учитывает неизбежные погрешности изготовления, сборки и упругие деформации:

$$h_{\text{мин}} = K(2R_{z1} + 2R_{z2}). \quad (3)$$

С учетом разбухания древесного вкладыша $Y_{в}$, шероховатости контактных поверхностей $h_{\text{мин}}$, расширения вала от температурных колебаний узла трения $h^B_{т}$ зазор

$$S = Y_{//} + h_{\text{мин}} + h^B_{т} = 2(0,001t \dots 0,003t) + K(2R_{z1} + 2R_{z2}) + d\alpha, \quad (4)$$

где d – диаметр вала; α – коэффициент термического расширения вала.

Установлено, что при колебании температуры от +20 до +100°C и влажности до полного насыщения древесного волокна влагой абсолютный зазор S для подшипников диаметром 10...120 мм находится в пределах 0,08...0,3 мм.

В результате испытаний на лабораторных стендах установлены величины оптимальных зазоров для ПСС, которые должны превышать на 20 – 30 % расчетные и соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные значения оптимальных абсолютных зазоров в узлах трения с ПСС

Размеры вала d , мм		10 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	51 – 60	61 – 80	81 – 100	101 – 120
Зазоры S , мм	минимальный	0,08	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
	максимальный	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50

Из таблицы 2 следует, что экспериментальный зазор определяется по формуле

$$S = (0,004...0,005)d. \quad (5)$$

Экспериментально установленные значения зазоров между цапфой вала и ПСС обеспечивают хорошую прирабатываемость, высокую износостойкость и долговечность узлов трения, при этом заклинивание и заедание валов исключено.

Вращению вала в подшипнике скольжения противодействует момент сил трения, что вызывает их нагрев. Так как ПСС работают в режиме самосмазки, то генерируемая в контактной зоне теплота Q_2 отводится через вал и корпус подшипника (в узлах трения, работающих со смазкой, часть тепла уносится смазывающей жидкостью). Для любого установившегося режима работы подшипника существует тепловое равновесие: теплоотдача $Q_{от}$ равна тепловыделению Q_2 .

Перегрев ПСС является основной причиной его разрушения.

Исходя из теплового равновесия узла трения

$$Q_{от} = Q_2 = F \nu f, \quad (6)$$

определяют грузоподъемность F подшипника скольжения при любой заданной скорости скольжения ν (f – коэффициент трения):

$$F = Q_{от} / \nu f. \quad (7)$$

В результате проведенных расчетов была определена грузоподъемность ПСС, заменяющих подшипники качения.

Установлено, что проверку работоспособности конструируемого узла трения с ПСС или при переводе подшипника качения в эксплуатируемом узле трения машины или механизма на ПСС необходимо проводить не только по критерию $p v \leq [p v]$, который не должен превышать 2,5 МПа м/с при расчетной нагрузке $F_p < F_{\text{табл}}$, но и по тепловому расчету, в котором по известной конструкции узла трения определяется количество отводимого тепла валом и древесной втулкой, а по известным условиям работы узла трения определяется количество тепла, выделяемого в контактной зоне.

В том случае, когда количество отводимого тепла меньше выделяемого в ПСС, устанавливаются металлические компенсаторы или вносятся конструктивные изменения (если это возможно) в узел трения, увеличивая диаметр вала и ПСС или ширину ПСС.

В пятой главе представлены результаты практической реализации разработанного способа ТПД древесины для изготовления ПСС, заменяющих подшипники качения и скольжения из традиционных материалов, и их опытно-промышленной проверки.

Проведенная опытно-промышленная проверка ПСС показала высокую работоспособность и износостойкость их в режиме самосмазки в абразивно-агрессивных средах. Срок службы ПСС во многих случаях превышает срок службы подшипников качения в 2-3 раза. При эксплуатации ПСС исключаются обслуживание и техосмотры узла трения. Установлено, что ПСС соответствуют требованиям системы стандартов безопасности труда. Их монтаж и демонтаж не вызывают затруднений. Установка ПСС упрощает конструкцию узла трения: отпадает необходимость в распорных кольцах, уплотнениях, крышках, устройствах для периодической подачи смазки.

Опытные образцы ПСС прошли государственные испытания на Белорусской государственной сельскохозяйственной машиноиспытательной станции (МИС) в скребковых навозоуборочных транспортерах ТСН-160А и ТСН-3Б в узлах трения поворотных и натяжных звездочек взамен шарикоподшипников 180308.

Высокую работоспособность и надежность ПСС показали в полевых условиях в сошниках сеялок СЗУ-3,6 взамен подшипников качения 180503.

Хорошие результаты получены при замене ПСС в узлах трения технологического оборудования промышленных предприятий, а именно:

- в шнековых транспортерах, установленных на предприятии ОАО «Гомельхлебопродукты» и предназначенных для перемещения сыпучих грузов (зерна) при погрузочно-разгрузочных работах, взамен подшипников качения и металлических подшипников скольжения;

- в элеваторах на ОАО «Гомельстекло», предназначенных для подачи песка в сушильные камеры, взамен подшипников скольжения из чугуна;

- в узлах трения подъемников фирмы ESKA (Германия) взамен подшипников скольжения из композиционного материала;

- в ленточных транспортерах, эксплуатируемых на Гомельском заводе «Центролит» и Коростеньских карьерах.

Гомельскому подшипниковому заводу переданы технологическая документация и установки для изготовления ПСС на основе древесины, которые работают в полуавтоматическом режиме производительностью 600 – 650 ПСС в смену. Разработанная технология позволила наладить серийный выпуск подшипников типоразмеров ПСС-201 и ПСС-503.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполненные в диссертации теоретические и экспериментальные исследования позволили обосновать возможность деформирования воздушно-сухой древесины без применения энергоемкой влаготермообработки. Доказано, что при удалении связанной влаги с 30 до 15 – 20 % прочность древесины повышается только на 17 – 25 %, что незначительно влияет на ее сопротивление деформированию [1,5].

2. Установлено, что появление микротрещин по наружной поверхности заготовок при их торцовом деформировании во вкладыш обусловлено растяжением сплошного гибкого элемента (шинки) и прилегающей к нему поверхности древесной заготовки. Разработана модель торцового деформирования древесных заготовок с использованием гибкого дискретного элемента, обеспечивающего одновременное прессование их по всему объему без появления микротрещин. Данная модель позволила создать приспособление для получения качественных вкладышей за один технологический прием с заданной степенью прессования по наружной поверхности 8 – 25 %, по внутренней 45 – 55 %, которая зависит от толщины древесной заготовки и ширины дискретного элемента [4,9,15].

3. Сконструированы и изготовлены установки-полуавтоматы для серийного выпуска малогабаритных подшипников и разработан энер-

госберегающий технологический процесс получения стабильных по размерам износостойких ПСС, надежно работающих в абразивно-агрессивных и влажных средах. Экспериментально установлено, что максимальное повышение прочности древесины достигается полным удалением связанной влаги в процессе пропитки втулок модифицированной смазкой при температуре 130 ± 5 °С, что позволило исключить применение сушки, увеличить производительность изготовления ПСС [8, 10].

4. Рассчитаны и экспериментальными исследованиями подтверждены величины зазоров в узле трения с ПСС, учитывающие шероховатость контактных поверхностей, термическое расширение вала, разбухание и усушку древесного вкладыша, толщину граничного смазочного слоя, погрешности монтажа. При оптимальном зазоре $S=(0,004 \dots 0,005)d$ обеспечиваются минимальные потери мощности на трение и максимальная несущая способность подшипников скольжения [13].

5. Предложена методика определения грузоподъемности и работоспособности ПСС в узле трения по тепловому балансу с установившейся температурой 120-125 °С. Полученные результаты, позволяющие с учетом диаметра вала, частоты его вращения и нагрузки принять решение о взаимозаменяемости подшипника качения на ПСС или о возможном конструктивном изменении узла трения [6, 7].

6. ПСС прошли государственные, стендовые испытания и широкую опытно-промышленную проверку в полевых и производственных условиях в узлах трения различных машин и механизмов, работающих в абразивно-агрессивных и влажных средах. Испытания показали высокую надежность и износостойкость ПСС в режиме самосмазки и отсутствие их заклинивания. По сроку службы они превзошли подшипники качения и подшипники скольжения из традиционных материалов в 5-15 раз. Установлено, что ПСС соответствуют требованиям стандартов безопасности труда [2,3,11,14,17].

Разработанные установки-полуавтоматы и новый энергосберегающий технологический процесс использованы для серийного производства износостойких ПСС на АП Гомельский подшипниковый завод [12,16].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ РАБОТ

1. *Врублевская В.И., Невзорова А.Б., Врублевский В.Б.* Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. – Гомель: Бел ГУТ, 2000. – 324 с.
2. *Врублевская В.И., Врублевский В.Б.* Подшипники из древесины // Техника, экономика, организация. – 1997. – № 4. – С.10–11.
3. *Врублевская В.И., Невзорова А.Б., Врублевский В.Б.* Износостойкие подшипники на основе природного полимера // Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество: Материалы II междунар. науч.-практ. конф. / БГУ. – Минск, 1998. – Ч. 1. – С. 79–83.
4. *Невзорова А.Б., Врублевская В.И., Врублевский В.Б.* Новый способ гнутья древесины для изготовления подшипников скольжения // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – № 3. – С. 79–82.
5. *Невзорова А.Б., Скойбеда А.Т., Врублевский В.Б.* Технологическое обеспечение качества изготовления подшипников скольжения на основе древесины // Сучасне машинобудування: Науково-технічний журн. – 2000. – №1-2 (3-4). – С. 72-75.
6. *Моисеенко В.Л., Врублевский В.Б., Бочкарев Д.И., Довгяло В.А., Невзорова А.Б.* Производственные испытания подшипников скольжения на основе древесины в узлах трения роликовых транспортеров звеньевоегo путеукладчика // Вестник Белорусского государственного университета транспорта; Наука и транспорт. – 2001. – №1. – С.32-35
7. *Невзорова А.Б., Врублевский В.Б.* Определение работоспособности подшипников скольжения на основе древесины // Трение и износ. – 2001. – Том 22. № 2. – С. 222-226.
8. *Невзорова А.Б., Врублевский В.Б., Гафт Г.А.* Технологическое моделирование новых подшипников скольжения // Инженер механик: Республ. межотраслевой науч.-техн. и производ.-экон. журн. – Минск, 2001. – №4(13). – С. 17-18.
9. *Невзорова А.Б., Врублевский В.Б., Скойбеда А.Т.* Деформирование древесины дискретным элементом // Materialy Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materialow I Konstrukcji; Augustow. Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej. – Bialystok, 2001. – P. 193-198.

10. Врублевский В.Б. Особенности конструкции высокопроизводительного оборудования для изготовления подшипников скольжения // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тр. Междунар. науч.-практ. конф./ Бел. ж.д. – БелГУТ. – Гомель, 2001. – С. 56-57.

11. Врублевский В.Б., Довгяло В.А. Триботехнические испытания самосмазывающихся подшипников скольжения в лабораторных и производственных условиях // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2001. – С. 57-58.

12. Врублевский В.Б., Невзорова А.Б. Перспективные конструкции и технологии изготовления подшипников скольжения // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Темат. сб. / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк, 1999. – С. 107-108.

13. Невзорова А.Б., Скойбеда А.Т., Врублевский В.Б., Определение оптимальных зазоров между валом и подшипниками скольжения из прессованной древесины // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности разработку экономичных и экологически чистых технологий и прогрессивных методов обучения: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2000. – С. 75.

14. Врублевский В.Б., Довгяло В.А. Влияние монтажа подшипников скольжения на долговечность узлов трения // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2000. – С. 202-203.

15. Врублевский В.Б., Невзорова А.Н. Технология деформирования древесины в цилиндрическую оболочку // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы VII междунар. симпозиума / Ярополец 12-18 февраля 2001 г. – М., 2001. – С.10-11.

16. Пат. 2488 С 1 ВУ, 6 F 16 с 33/18. Способ изготовления подшипников скольжения / Врублевский В.Б., Невзорова А.Н., Врублевская В.И., Антошков П. И. – №970238; Заявл. 07.05.97; Опубл. 30.12.01 // Афіц. бюл. №4. 2001.

17. Пат. 329 С 1 ВУ, G 01M 13/04. Стенд для испытания самосмазывающихся подшипников скольжения / Невзорова А.Б., Врублевская В.И., Моисеенко В.Л., Врублевский В.Б., Довгяло В.А. – № и 20010018; Заявл. 29.01.01; Опубл. 30.09.2001 // Афіц. бюл. №3. 2001.

РЭЗІЮМЭ

Врублеускі Уладзіслау Браніслававіч
**Даследаванне працэса тарцова-прэсавага дэфарміравання
 драуніны і стварэнне высокапрадукцыйнага абсталявання
 для вырабу падшыпнікаў слізгання**

Ключавыя словы: драуніна, дыскрэтны элемент, дэфармаванне, ступень прысавання, падшыпнікі слізганя, тэхналогія, абсталяванне.

Аб'екты даследавання – спосаб тарцова-прэсавага дэфарміравання драуніны і падшыпнікі слізгання на яе аснове, прадмета і даследавання – тэхналагічны працэс і абсталяванне для іх выраблення.

Мэта працы – распрацаваць і даследаваць спосаб тарцова-прэсавага дэфарміравання драуніны для выкарыстання у абсталяванні, якія выпускаюць падшыпнікі слізгання для вузлоў трэння (шаравання) машын і механізмаў.

У рабоце выкарысталі метады электроннай міюкраскапіі, статыстычнага аналізу, маномер, вільгаметр, машыны трэння СМТ-1, стэнд для выпрабавання падшыпнікаў ВНПП 539 і інш.

Упершыню распрацаваны і даследаваны спосаб тарцова-прэсавага дэфарміравання драуніны з выкарыстаннем дыскрэтнага элементу і устаноўлена ўзаемасувязь паміж яго размерамі і ступенню прысавання утулкі па усяму аб'ёму, што дазволіла выключыць папярэдня вільгатэрмапрацоўку драуняных заготовак і паяўленне мікратрэшччын на вонкавай паверхні.

Разлікаваны і эксперыментальна устаноўлены аптымальныя шчыліны для разліковых тыпаў падшыпнікаў.

У выніку цеплавога разліку вызначаны абмяжаваныя умовы працаздольнасці ПСС. Распрацаваны спосаб абаронен патэнтам РБ і на яго аснове створаны тэхналогія і абсталяванне для серыйнага выраблення падшыпнікаў слізгання.

РЕЗЮМЕ

Врублевский Владислав Брониславович

Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления подшипников скольжения

Ключевые слова: древесина, дискретный элемент, деформирование, степень прессования, подшипники скольжения, технология, оборудование.

Объекты исследований – способ торцово-прессового деформирования древесины и подшипники скольжения на ее основе, предмет исследования – технологический процесс и оборудование для их изготовления.

Цель работы – разработать и исследовать способ торцово-прессового деформирования древесины для использования его в оборудовании, выпускающем подшипники скольжения для узлов трения машин и механизмов.

В работе использованы методы электронной микроскопии, статистического анализа, манометр, влагомер, машины трения СМТ-1, стенд для испытаний подшипников ВНИПП 539 и др.

Впервые разработан и исследован способ торцово-прессового деформирования древесины с использованием дискретного элемента и установлена взаимосвязь между его размерами и степенью прессования втулки по всему объему, что позволило исключить предварительную влаготермообработку древесных заготовок и появление микротрещин на наружной поверхности.

Рассчитаны и экспериментально установлены оптимальные зазоры для различных типов подшипников.

В результате теплового расчета определены граничные условия работоспособности ПСС. Разработанный способ защищен патентом Республики Беларусь и на его основе созданы технология и оборудование для серийного изготовления подшипников скольжения.

SUMMARY

Vrublevskij Vladislav Branislavavich

Investigation of the process of wood face forced deformation and creation of high efficiency equipment for slide bearings manufacture.

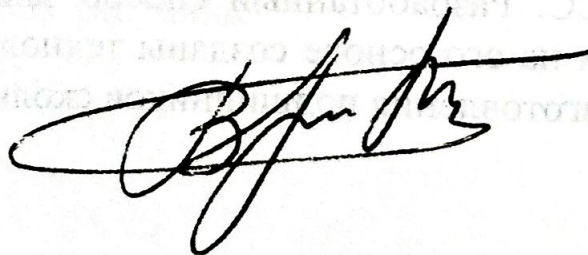
Key-words: wood, discrete element, deformation, degree of pressing, slide bearing, technology, equipment.

Object of research: method of wood face forced deformation and slide bearings on its basis, subject of research – technological process and equipment for their manufacture.

Purpose of work: to develop and investigate method of wood face forced deformation for usage in equipment producing slide bearings for friction units of machines and mechanisms. In the work there were used the method of electronic microscopy, statistic analysis, manometer, moisture gage, friction machine SMT 1, bearing test stand VNIIP 535 etc.

For the first time it was developed and investigated the method of wood face forced deformation with usage of discrete element and interrelation between its size and bush pressing degree for all volume was found out, which allowed to exclude preliminary moisture and thermo processing of wood billets and avoid occurrence of micro cracks on external surface. Optimal clearances for various bearing types were calculated and experimentally established. According to thermal calculation there were determined boundary conditions of efficiency (ПСС).

The developed method is patented in the Republic of Belarus and on its basis technology and equipment for serial production of slide bearings are created.



Подписано в печать 2.05.2002 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага писчая. Печать офсетная. Печ. л. 1,25. Тираж 100. Зак. № 996.

Типография БелГУТа, 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лицензия ЛП № 360 от 26.07.99 г.