

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.023

**КИСЕЛЕВ**  
**Сергей Владимирович**

**ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
УЗКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ БРЕВЕН  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИМ  
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

Минск 2014

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре деталей машин и подъемно-транспортных устройств.

**Научный руководитель**

**Бельский Сергей Евграфович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой деталей машин  
и подъемно-транспортных устройств  
учреждения образования «Белорусский  
государственный технологический уни-  
верситет»

**Официальные оппоненты:**

**Алифанов Александр Викторович**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры оборудования  
и автоматизации производства учреждения  
образования «Барановичский государ-  
ственный университет»;

**Фридрих Александр Павлович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
кафедра деревообрабатывающих станков  
и инструментов учреждения образования  
«Белорусский государственный технологи-  
ческий университет»

**Оппонирующая организация**

Государственное научное учреждение  
«Физико-технический институт  
НАН Беларуси»

Защита состоится «11» ноября 2014 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, в ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017) 327-83-41, факс: (017) 327-62-17, e-mail: lmitz@belstu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образова-  
ния «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «10» октября 2014 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



С.П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей деревообрабатывающей отрасли, получившей в последнее время приоритетное развитие, является рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов с целью обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках сбыта. В условиях мировой тенденции высокого спроса на изделия из массива древесины, одним из основных этапов изготовления изделий из нее, определяющим эффективность функционирования предприятия, является получение пиломатериалов.

Современные технологические потоки переработки бревен используют фрезерно-брусующие линии, лесопильные рамы, круглопильные и ленточнопильные станки. В последние годы широкое распространение получила технология распиловки бревен узкими ленточными пилами, устанавливаемыми на горизонтальные ленточнопильные станки легкого класса. Основным достоинством узких ленточных пил является малая ширина пропила (1,5–2 мм), определяющая низкое энергопотребление и уменьшение потерь древесины в виде опилок в 2–3 раза по сравнению с рамными и круглыми пилами. Имеется возможность без переналадки оборудования и необходимости предварительной сортировки сырья осуществлять различные схемы раскроя, в том числе производить индивидуальный раскрой бревна с учетом его особенностей (кривизна, наличие пороков и пр.), тем самым увеличивается выход пиломатериалов при распиловке, что особенно важно при переработке ценных пород древесины. Горизонтальные ленточнопильные станки обладают небольшой стоимостью, малым сроком окупаемости, однако и относительно невысокой производительностью 8–10 м<sup>3</sup> в смену.

Основной проблемой, возникающей при эксплуатации ленточных пил и снижающей эффективность их применения, является преждевременные разрывы полотна пилы. Они носят усталостный характер и приводят к дополнительному потреблению пил, простоям в работе оборудования и увеличению риска травмирования. Главной причиной зарождения и развития усталостных трещин в ленточной пиле является сложное напряженное состояние, характеризующееся его циклическим изменением. Известные исследования не в полной мере раскрывают влияние на напряженное состояние пилы таких эксплуатационных факторов, как: действие направляющих устройств, наклон ведомого шкива, неравномерный нагрев пил, действие сил резания. Это предопределило направление и содержание проведенных в составе диссертационной работы исследований.

Проведение усталостных испытаний ленточных пил непосредственно на станке требует значительных временных и энергетических затрат и связано с большим разбросом условий эксплуатации, что снижает точность определения усталостных характеристик. Отсутствие экспериментальной установки, позволяющей в лабораторных условиях воспроизводить основные нагрузки, действующие на ленточную пилу во время работы, определило необходимость ее создания для проведения диссертационных исследований.

В диссертационной работе разработан научно обоснованный способ повышения усталостной долговечности узких ленточных пил для распиловки

бревен упругопластическим деформированием путем обкатки на малогабаритном шкиве, определены режимы его проведения. Повышение усталостной долговечности ленточных пил позволяет снизить их потребление на производственный процесс, увеличить производительность оборудования и повысить безопасность его эксплуатации.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.** Тема диссертационной работы включена в утвержденные научные планы работы УО «Белорусский государственный технологический университет», соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на период 2011–2015 гг. пункт 1.6 «Энергосбережение, энергоэффективные технологии» и научному направлению кафедры «Детали машин и подъемно-транспортные устройства» УО «Белорусский государственный технологический университет». Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательской работы ГБ 27-011 «Экспериментальные исследования и разработка математической модели напряженного состояния и усталостного разрушения ленточных пил», 2007 г.

### **Цель и задачи исследования.**

*Цель диссертационной работы* – научное обоснование и разработка способа и режимов проведения предварительного упругопластического деформирования узких ленточных пил для распиловки бревен, обеспечивающего повышение их усталостной долговечности и позволяющего снизить расход пил, увеличить производительность оборудования и повысить уровень безопасности труда.

*Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:*

- установить условия работы и причины разрушения узких ленточных пил для распиловки бревен в промышленных условиях, провести анализ марок сталей и их механических свойств, применяемых для изготовления ленточных пил, для оценки их влияния на усталостную долговечность пил и определения путей ее повышения;
- выполнить аналитическое исследование напряженного состояния узкой ленточной пилы в период ее функционирования с учетом возникающих в полотно напряжений от сил резания, неравномерного нагрева, действия направляющих устройств, наклона ведомого шкива, для оценки влияния этих факторов на долговечность ленточных пил;
- исследовать схему нагружения испытуемого образца ленточной пилы, учитывающую основные нагрузки, действующие на него, и обосновать необходимость разработки новой конструкции экспериментальной установки для испытаний пил, повышающей точность определения их усталостных характеристик;
- разработать способ предварительного упругопластического деформирования узкой ленточной пилы для распиловки бревен, позволяющий повысить ее срок службы, и обеспечить возможность его практической реализации с учетом марок сталей, применяемых для изготовления пил;
- провести производственные испытания ленточных пил, прошедших упругопластическое деформирование.

**Объектом исследований** является полотно узкой ленточной пилы для распиловки бревен.

**Предметом исследований** является напряженное состояние полотна узкой ленточной пилы для распиловки бревен, ее усталостная долговечность.

**Положения, выносимые на защиту.**

– Аналитические зависимости, позволяющие определить значения напряжений, возникающих в узкой ленточной пиле для распиловки бревен во время ее функционирования, учитывающие влияние неравномерного нагрева по ширине, сил резания, направляющих устройств, наклона ведомого шкива, и оценить их влияние на долговечность пилы.

– Аналитические зависимости, описывающие схему нагружения образца ленточной пилы статической растягивающей и циклической изгибающей силами, позволившие разработать конструкцию новой экспериментальной установки, повышающую точность определения усталостных характеристик материала пилы.

– Научное обоснование способа подготовки ленточной пилы к работе, основанного на создании заданных остаточных напряжений и деформаций в сечении пилы путем ее упругопластического деформирования в холодном состоянии с целью снижения амплитудных значений напряжений, возникающих в пиле во время работы. Реализация способа, включающая использование разработанной конструкции установки и установленных режимов упругопластического деформирования с учетом применяемых сталей для изготовления пил.

– Результаты опытно-промышленных испытаний узких ленточных пил из стали 45ХГНМФА, прошедших упругопластическое деформирование, при котором в поверхностных слоях пилы были созданы остаточные напряжения сжатия 150–170 МПа, установившие повышение усталостной долговечности в пределах 20% по сравнению с пилами, не прошедшими упрочнение.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационная работа является результатом личной работы С. В. Киселева. Выполнен анализ литературных источников, посвященных исследованию устойчивости и долговечности ленточных пил, проведен анализ конструкций оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов, определены пути дальнейших исследований, направленных на изучение влияния предварительной подготовки ленточных пил на их долговечность. Соискатель принимал непосредственное участие в разработке математической модели напряженного состояния узких ленточных пил для распиловки бревен, позволяющей определять напряжения в полотне ленточной пилы, возникающие в процессе ее функционирования.

С. В. Киселев разработал конструкцию и принимал участие в изготовлении экспериментальной установки для проведения усталостных испытаний образцов ленточных пил.

Разработана методика и проведены эксплуатационно-технологические и исследовательские испытания опытных образцов ленточных пил, прошедших предварительное упругопластическое деформирование в условиях деревообрабатывающего предприятия.

В результате проведения промышленных испытаний определен экономический эффект от способа предварительного упругопластического деформирования.

Соискатель лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами опубликованных работ являются сотрудники кафедры «Детали машин и подъемно-транспортные устройства» УО «Белорусский государственный технологический университет».

**Апробация результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы докладывались и одобрены на: научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, Белорусско-Российский университет, 2006 г.), 10 республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь. «НИРС–2005» (г. Минск, БНТУ, 2006 г.), 69–78-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава БГТУ (г. Минск, БГТУ, 2005–2014 гг.), I Республиканской молодежной научно-практической конференции с международным участием «Научные стремления – 2010» (г. Минск, НАН Беларуси, 2010 г.), Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (г. Воронеж, ВГЛТА, 2014 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертационной работы опубликовано 16 научных работ, в том числе 12 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, объемом 4,4 авторских листа, 4 материала научных конференций и тезисов доклада. Получен 1 патент на изобретение и 1 патент на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных библиографических источников и приложений. Объем диссертации составляет 163 страницы. Работа включает 59 иллюстраций на 57 страницах, 9 таблиц на 9 страницах, приложения на 26 страницах. Библиографический список включает 121 наименование используемых источников и список публикаций соискателя из 16 наименований на 9 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ литературных источников отечественных и зарубежных авторов по теме диссертации. Рассмотрены достоинства ленточного пиления, его перспективность в условиях деревопереработки, отмечены основные проблемы, возникающие при эксплуатации ленточных пил.

Основополагающие исследования в области распиловки древесины ленточными пилами принадлежат таким известным ученым в области деревообработки, как Г. Ф. Прокофьев, А. Е. Феоктистов, И. И. Иванкин, В. Thunell и др. Анализ работ показал, что уделено мало внимания проблеме,

возникающей при эксплуатации ленточных пил, заключающейся в преждевременной потере работоспособности из-за их разрыва. Основной причиной таких разрывов является зарождение и развитие усталостных трещин.

В решении проблемы повышения усталостной долговечности ленточных пил сформировалось несколько направлений: применение материала пилы с более высокими прочностными показателями, изменение конструктивных и геометрических параметров станка и инструмента, введение дополнительных операций подготовки к работе инструмента, изучение напряженного состояния полотна ленточной пилы в процессе работы и его влияния на ее усталостную долговечность.

Изучением напряженного состояния полотна пилы занимались А. Е. Феоктистов, Г. Ф. Прокофьев и др. Авторами предложено определять величину напряжений в полотне пилы как сумму всех напряжений, возникающих от различных факторов. Однако существующие теоретические зависимости по определению напряжений не полностью учитывают действие сил резания, направляющих устройств, наклона шкива при наличии бандажного ремня, неравномерного нагрева пилы во время работы, что определило необходимость дальнейшего исследования этих факторов.

Большое количество иностранных производителей ленточных пил, представляющих свою продукцию в Республике Беларусь без достаточных данных по маркам сталей пил и механическим свойствам, определило проблему выбора инструмента с наиболее оптимальными эксплуатационными характеристиками. Проведение сравнительных испытаний инструмента потребителями на ленточнопильных станках требует значительных материальных и временных затрат и подвержено действию многочисленных случайных факторов и субъективной оценке. Наиболее рациональным способом в данном случае является проведение испытаний на лабораторном оборудовании, с обеспечением одинаковой воспроизводимости условий нагружения в каждой серии опытов. Анализ конструкций оборудования для проведения усталостных испытаний плоских образцов показал, что существующее оборудование не позволяет воспроизвести основные нагрузки, действующие на пилу, в частности циклический односторонний изгиб совместно со статическим растяжением, что продиктовало необходимость создания новой конструкции оборудования, позволяющего провести более объективную оценку усталостной долговечности ленточных пил.

Среди возможных направлений повышения усталостной долговечности ленточных пил в условиях деревообрабатывающих предприятий наиболее перспективным является совершенствование технологии подготовки инструмента к работе. Известные способы упрочнения полотна пилы пластическим и термопластическим деформированием впадины зуба, ультразвуковой дробеструйной обработкой, подшлифовкой впадины требуют значительных затрат времени и ресурсов. Это определило необходимость разработки нового способа подготовки к работе узких ленточных пил для распиловки бревен, обеспечивающего повышение их усталостной долговечности.

В результате проведенного анализа литературных источников отечественных и зарубежных авторов сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе описаны испытательное оборудование, объекты и методы проведения их исследования.

В качестве объекта исследования были использованы узкие ленточные пилы для распиловки бревен, импортируемые в Республику Беларусь (Woodnizer, Bansa, Pilana и др.). Исследования по определению химического состава и механических свойств показали, что несмотря на большое разнообразие, все ленточные пилы можно разделить на 3 группы, в пределах которых их характеристики идентичны. Данный факт позволил провести дальнейшие исследования без привязки к конкретным производителям.

Определение химического состава сталей, из которых изготовлены ленточные пилы, осуществлялось на спектрометре Spectrolab M5 в условиях ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси».

Механические свойства материалов ленточных пил, определены согласно ГОСТ 1497 «Методы испытания на растяжение» на разрывной машине P5 и с помощью тензометра mini MFA 2.

Твердость сталей определялась на твердомерах TP и ПМТ-3, структура – с помощью электронного микроскопа JOEL.

Измерение сил резания проводилось с помощью универсального динамометрического моста типа УДМ 1200, установленного на базе ленточнопильного станка LT40, и тензометрической измерительной системой EX-UT10.

Исследование распределения температуры по ширине ленточной пилы проводилось бесконтактным методом с помощью пирометров Optris CT.

Усталостные характеристики материалов ленточных пил определялись с помощью специально разработанной экспериментальной установки, позволяющей воспроизводить основные нагрузки, действующие на пилу во время ее функционирования. Оценка адекватности нагружения образца на установке напряженному состоянию ленточной пилы в процессе работы проводилась путем определения напряжений в образце тензометрическим методом с помощью измерительной системы SPIDER 8, а также фрактографическим исследованием изломов.

Методика проведения усталостных испытаний образцов и обработка результатов основывалась на ГОСТ 25.502 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость».

Экспериментальные результаты обрабатывались статистическими методами.

Третья глава посвящена анализу материалов, из которых изготовлены узкие ленточные пилы для распиловки бревен, исследованию их механических свойств, а также установлено режимов эксплуатации и причин потери работоспособности ленточных пил на деревообрабатывающих предприятиях.

Узкие ленточные пилы для распиловки бревен выпускают более 15 различных производителей. Химический анализ материалов пил, импортируемых в Республику Беларусь, показал, что стали для их изготовления можно разделить на три группы: углеродистые стали с содержанием углерода 0,7–0,75%,



аналог – Сталь 75А; стали легированные 2% никеля с содержанием углерода 0,75%, аналог – Сталь 75Н2А; легированные стали с содержанием углерода 0,45%, аналог – Сталь 45ХГНМФА. Малое разнообразие материалов объясняется небольшим количеством изготовителей стальной ленты для производства ленточных пил [7–А].

Предел прочности сталей находится в промежутке  $\sigma_B = 1095\text{--}1520$  МПа, предел текучести  $\sigma_T = 895\text{--}1475$  МПа, твердость 42–47 HRC. Исследования показали, что материалы Сталь 45ХГНМФА и Сталь 75Н2А имеют горизонтальную площадку текучести, а Сталь 75А имеет площадку упрочнения, что дало возможность теоретического обоснования способа упругопластического деформирования ленточных пил, представленного в главе 4.

Установлена структура сталей, которая практически идентична для всех групп сталей, и представляет собой мартенсит отпуска с включениями феррита.

С целью получения исходных данных для определения напряженного состояния и разработки способа упрочнения узких ленточных пил для распиловки бревен проведены исследования по изучению условий эксплуатации ленточных пил и причин их выхода из строя на базе ЗАО «Молодечномобель». Анализ годовой партии ленточных пил показал, что от 45 до 50% всех пил выходят из строя по причине аварийного разрыва полотна, при этом их ширина соответствует 60–65% ресурса по заточке. Около 8–10% пил выходят из строя по причине поломки зубьев и только 30–35% пил отрабатывают заложенный срок службы и теряют работоспособность по причине минимально допустимой ширины.

Для установления режимов распиловки бревен проведен анализ распиливаемого сырья по породам и типоразмерам в условиях ЗАО «Молодечномобель», показавший, что основной используемой породой является дуб со средним значением диаметра бревна 28–34 см и длиной 4 м. Его доля составляет около 70% от общего количества сырья. В меньшей степени проводится распиловка сосны – 16%, березы – 7% и ольхи – 5%. Схожие результаты получены на филиале ОАО «Гомельдрев» «Паркетный завод».

На основании анализа распиливаемого сырья проведены исследования по определению сил резания. В качестве варьируемого фактора выступала скорость подачи  $V_s$  и соответствующая ей величина подачи на зуб  $a$ . Результаты исследований приведены на рисунке 1.

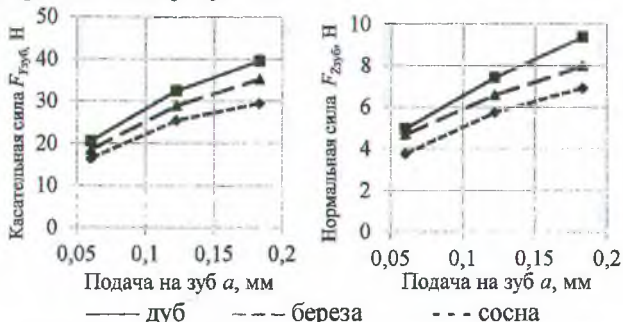


Рисунок 1 – Силы резания на зуб при пилении различных пород

Из рисунка 1 видно, что характер зависимостей сил резания  $F_{rзуб}$  и  $F_{zзуб}$  от подачи на зуб  $a$  идентичны, при этом наиболее тяжелые режимы распиловки наблюдаются при переработке древесины дуба.

Проведены исследования по определению распределения температуры по ширине ленточной пилы в процессе пиления. Измерения проводились в начале работы, через час и при критическом затуплении пилы. Установлено, что максимальный перепад температуры наблюдается после прохода 4,5–6 м древесины и составляет 14–16°. Главным образом теплообразование наблюдается в области зубьев пилы и в меньшей степени за счет трения полотна об боковые стенки пропила. При затуплении пилы и потере ею устойчивости нагрев происходит также от трения тыльной кромки пилы о древесину. Во время холостого хода происходит остывание пилы и выравнивание температуры по ее ширине.

Четвертая глава посвящена исследованиям, направленным на определение напряженного состояния полотна пилы в процессе ее функционирования, разработке аналитических зависимостей, описывающих схемы нагружения экспериментальных образцов пилы, и конструкции экспериментальной установки для их лабораторных испытаний, оценке усталостной долговечности материалов ленточных пил для распиловки бревен.

В установленных аналитических зависимостях напряженного состояния полотна ленточной пилы в процессе ее функционирования, в отличие от ранее используемых, дополнительно учтены и определены значения следующих напряжений.

Значения напряжений от *касательных составляющих сил резания*  $F_{zзуб}$ , находятся в пределах 20–40 МПа. Величина напряжений от *нормальных сил резания*  $F_{rзуб}$ , рассматриваемых как сплошная равномерно распределенная нагрузка, составляет 55–80 МПа.

Напряжения от *наклона ведомого шкива* определялись с учетом наличия на шкивах упругого бандажного ремня. Установлено, что при повороте ведомого шкива на угол  $\alpha_0$  происходит совместная деформации ремня и пилы, при этом сечение пилы повернется на меньший угол  $\alpha$ , определяемый по зависимости:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{1 + \frac{sh_p E}{RIE_p}}, \quad (1)$$

где  $s$  – толщина пилы;  $h_p$  – толщина бандажного ремня;  $E$  – модуль упругости материала пилы;  $E_p$  – модуль упругости материала бандажного ремня;  $R$  – радиус шкива;  $l$  – половина длины пилы. Величина напряжений составляет 20–25 МПа.

Напряжения от действия *роликовых направляющих* на полотно ленточной пилы составляют 60–95 МПа [11–А].

Определение напряжений *от неравномерного нагрева* полотна ленточной пилы по ширине пилы проводилось исходя из значений температуры в трех точках по ширине пилы, распределение температуры описывается степенной зависимостью с определяющим параметром  $n$ . Установлено, что распределение температурных напряжений определяется зависимостью:

$$\sigma_{\text{тепл}}(x) = \alpha E (T_1 - T_0) \left( \frac{2b(1-n) + 6nx}{b(n+1)(n+2)} - \left( \frac{x}{b} \right)^n \right), \quad (2)$$

где  $T_1$  – температура на тыльной кромке;  $T_0$  – температура во впадине зуба;  $b$  – ширина пилы. Величина напряжений составляет 2–3 МПа [6–А].

На основании полученных значений напряжений построены диаграммы суммарных напряжений в характерных точках траектории движения ленточной пилы, показанные на рисунке 2. Величина суммарных напряжений определялась суммой эпюр составляющих напряжений в данной точке полотна пилы.



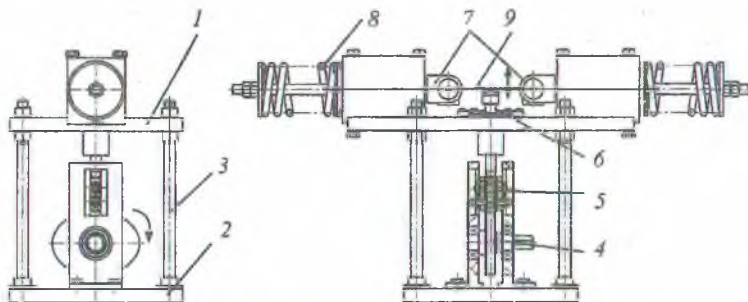
Рисунок 2 – Эпюры напряжений для точки, находящейся во впадине зуба с наружной стороны пилы

Из рисунка 2 видно, что максимальными напряжениями, приводящими к разрушению, являются напряжения от изгиба на шкивах, имеющих циклический характер, и напряжения растяжения от предварительного натяжения и действия центробежных сил. Повышение усталостной долговечности ленточных пил можно добиться путем снижения амплитудных значений напряжений от изгиба пилы на шкивах.

На основании анализа суммарных напряжений разработаны аналитические зависимости, описывающие три схемы возможного нагружения образца ленточной пилы основными нагрузками (статической растягивающей и циклической изгибающей силами) с целью разработки методики испытаний образцов в лабораторных условиях, позволяющей повысить воспроизводимость условий нагружения и повысить точность определения усталостных характеристик. Различие в схемах заключается в приложениях изгибающей силы: двумя сосредоточенными силами, приложенными симметрично относительно центра образца, сосредоточенной силой посередине образца и с помощью шаблона, выполненного в виде сектора с радиусом равным радиусу моделируемого шкива ленточнопильного станка. Из них выбрана схема с действием сосредоточенной силой, приложенной посередине образца, как наиболее корректно описывающая нагружение ленточной пилы в процессе работы [3–А]. Установлено, что воспроизведение условий работы достигается при действии

на образец растягивающей силы в пределах 1900–3000 Н и изгибающей силы в пределах 210–330 Н.

На основании выбранной схемы нагружения изготовлена и запатентована (патент Республики Беларусь №12621) экспериментальная установка для усталостных испытаний ленточных пил, принципиальная схема которой представлена на рисунке 3 [4–А].



1 – верхняя плита; 2 – нижняя плита; 3 – стойка; 4 – кулачковый механизм; 5 – каретка; 6 – шток; 7 – захватные устройства; 8 – пружина; 9 – образец

**Рисунок 3 – Принципиальная схема установки для усталостных испытаний образцов ленточных пил**

Установка состоит из двух основных узлов: узла статического растяжения экспериментального образца, расположенного на верхней плите 1, и узла возбуждения циклической изгибающей силы на нижней плите 2, соединенных между собой стойками 3. Основным элементом узла возбуждения изгибающей силы является кулачковый механизм 4, который передает усилие на образец через каретку 5 и шток 6, совершающие возвратно-поступательные движения. Напряжения изгиба определяются амплитудой движения штока, которая выбирается исходя из толщины образца, модуля упругости материала и расстояния между опорами. Узел растяжения представляет собой симметрично установленные относительно центра захватных устройства 7, в которых закрепляется экспериментальный образец. Создание растягивающей силы осуществляется цилиндрическими пружинами сжатия 8, одновременно выполняющими роль компенсатора при уменьшении расстояния между зажимными приспособлениями во время изгиба образца. Установка позволяет воспроизводить статическое растяжение с силой до 3500 Н и циклический изгиб, позволяющий достичь величины напряжений в поперечном сечении образца до 900 МПа.

Для определения усталостных характеристик материалов ленточных пил проведены испытания серий образцов по 18 штук для каждой марки стали, по результатам которых строились усталостные кривые, соответствующие 50% вероятности разрушения. Испытания проводились при постоянном значении коэффициента асимметрии цикла  $R = 0,18$ , определенного исходя из соответствия режимам нагружения ленточной пилы на станке во время работы: напряжения от растяжения  $\sigma_{\text{раст}} = 100$  МПа, напряжения от изгиба  $\sigma_{\text{изг}} = 460$  МПа.

Установление адекватности нагружения образцов пил на установке и разработанной математической модели нагружения образца проводилось определением фактических напряжений, возникающих в образце методом тензометрии. Для этого изготовлен и оттарирован образец с наклеенным на рабочем участке тензометрическим датчиком. В качестве измерительного комплекса применялся тензоусилитель SPIDER. Информация о величине деформаций передавалась на компьютер, где проводилась ее фиксация и дальнейшая обработка. Расходимость экспериментальных и теоретических значений не превышала 8–10%. Также проведен фрактографический анализ изломов экспериментальных образцов и пил, работающих на станке. Исследование макроструктуры изломов показало очевидное сходство характера поверхности изломов экспериментальных образцов и ленточных пил, что свидетельствует об идентичности их напряженного состояния.

**Пятая глава** посвящена научному обоснованию и разработке способа и оборудования для подготовки к работе узких ленточных пил для распиловки бревен с целью повышения их усталостной долговечности. Сущность способа заключается в создании заданных предварительных остаточных напряжений и деформаций в сечении пилы путем ее упругопластического деформирования в холодном состоянии, тем самым уменьшая амплитудные значения напряжений изгиба во время работы. Деформирование происходит путем обкатки на шкиве или шкивах с радиусом  $R_T$ , обеспечивающим возникновение пластических деформаций в наружных и внутренних слоях полотна пилы. В результате после проведения деформирования полотно получает остаточный радиус кривизны  $\rho_{ост}$ .

Разработаны аналитические зависимости, описывающие упругопластическое деформирование пил и учитывающие механические свойства их материалов, а также наличие горизонтальной площадки текучести для сталей 75Н2А и 45ХГНМФА, площадки упрочнения для стали 75А.

Выявлено, что остаточный радиус кривизны полотна пилы  $\rho_{ост}$  после проведения упругопластического деформирования определяется следующими зависимостями. Для материалов с горизонтальной площадкой текучести:

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{1}{R_T + 0,5s} - \frac{12\sigma_T}{E} \left( \frac{1}{4s} - \frac{1}{3s} \left( \frac{\sigma_T (R_T + 0,5s)}{Es} \right)^2 \right) \quad (3)$$

Для материалов с линейным упрочнением:

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{(E - E_T) \left( s^3 + \frac{4\sigma_T^3 (R_{T2} + 0,5s)^3}{E^3} - \frac{3s^2 \sigma_T (R_{T2} + 0,5s)}{E} \right)}{(R_{T2} + 0,5s) E s^3} \quad (4)$$

где  $R_{T2}$  – радиус шкива для деформирования;  $E_T$  – модуль упрочнения материала пилы.

Видно, что величина остаточных напряжений зависит только от механических свойств материала ленточной пилы  $E$ ,  $E_T$ ,  $\sigma_T$  и ее толщины  $s$ .

Установлена схема распределения напряжений по толщине полотна пилы для материалов с различными свойствами (рисунок 4).



а – материал с горизонтальной площадкой текучести; б – материал с линейным упрочнением

**Рисунок 4 – Напряжения, возникающие в полотне ленточной пилы при упругопластическом деформировании**

Проведены исследования по определению минимального времени деформирования пилы. Установлено, что деформация полотна пилы продолжительностью не менее 8–10 с позволяет достичь расчетного значения радиуса кривизны полотна ленточной пилы. При меньшем значении времени деформирования значение радиуса превышает расчетный.

Для измерения остаточного радиуса кривизны пилы после проведения упругопластического деформирования спроектировано и изготовлено приспособление, представляющее собой две планки с упорами, между которыми устанавливается образец. На одной из планок закреплен индикатор часового типа ИЧ 25, измеряющий величину прогиба образца пилы относительно плоскости, проходящей через поверхности измерительных упоров. Исходя из величины прогиба определялось значение радиуса кривизны.

Оценка адекватности полученных зависимостей, описывающих деформирование, проводилась путем сравнения фактического остаточного радиуса кривизны пилы, прошедшей деформирование, с теоретически рассчитанным, для различных значений диаметра шкива на котором проводилось деформирование. Анализ показал, что расхождение в значениях теоретического и экспериментального радиусов кривизны не превышает 5–8%, что позволило судить об адекватности разработанных аналитических зависимостей.

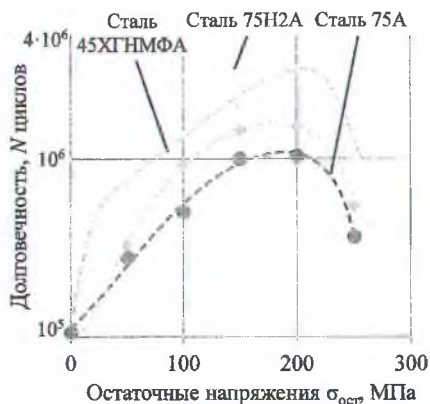
Для проведения предварительного упругопластического деформирования узких ленточных пил разработана конструкция, изготовлена и запатентована (патент Республики Беларусь № 8142) установка (рисунок 5). Она представляет собой основание, с размещенным на нем приводным шкивом, по которому обкатывается ленточная пила, и прижимными роликами, имеющими возможность радиального перемещения относительно оси вращения шкива. Количество прижимных роликов и их расположение обеспечивают полный контакт полотна пилы со шкивом с углом охвата  $180^\circ$ . Остальная часть пилы

поддерживается на опорах. Привод шкива и механизм перемещения прижимных роликов находится под основанием [9–А, 10–А].



**Рисунок 5 – Установка для проведения упругопластического деформирования ленточной пилы**

Однако, достигнув значения 150–200 МПа, долговечность практически не изменяется и при дальнейшем росте величины остаточных напряжений она уменьшается (рисунок 6). Предположительно это связано с ростом плотности дислокаций и возникновением микротрещин при значениях остаточных напряжений более 200 МПа.

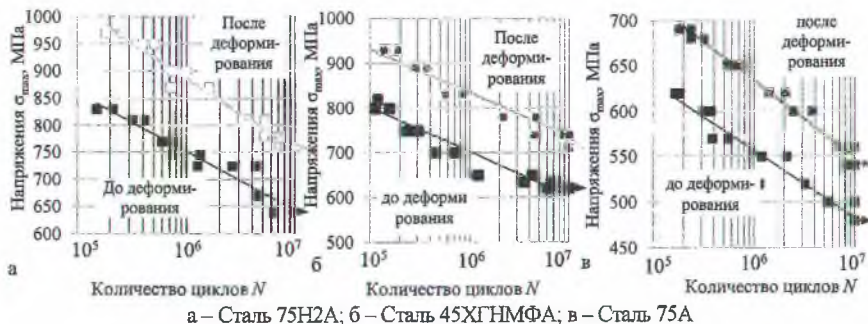


**Рисунок 6 – Изменение долговечности образцов пил для различных остаточных напряжений на поверхности пилы**

увеличивается на 19–23%, что позволило судить об эффективности предложенного способа проведения предварительной подготовки узких ленточных пил для распиловки бревен.

С целью определения режимов деформирования проведены усталостные испытания образцов по определению количества циклов нагружения изгибающей силой до разрушения образцов. В качестве варьируемого фактора принято расчетное значение остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$ . Анализ результатов показал, что усталостная долговечность растет по мере увеличения остаточных напряжений в поверхностных слоях ленточной пилы.

Таким образом, наибольший эффект повышения усталостной долговечности будет наблюдаться в том случае, когда величина остаточных напряжений в поверхностных слоях ленточной пилы будет находиться в пределах 150–170 МПа. Для режимов, обеспечивающих максимальное увеличение долговечности проведены усталостные испытания образцов ленточных пил, по результатам которых построены кривые усталости, соответствующие 50% вероятности разрушения (рисунок 7). После проведения упругопластического деформирования значения ограниченного предела выносливости



**Рисунок 7 – Результаты усталостных испытаний сталей для изготовления ленточных пил**

Исходя из результатов исследований, разработаны режимы проведения упругопластического деформирования для каждой марки сталей (см. таблицу) [10–А]. Скорость деформирования определена исходя из условия, что шкив огибается пилой на угол, равный  $180^\circ$ .

Таблица – Режимы проведения деформирования пилы

Марка стали	Толщина полотна пилы, мм					
	0,9		1,0		1,1	
	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с	Диаметр шкива, мм	Скорость деформирования, не более, см/с
Сталь 75А	96	1,51	106	1,66	116	1,82
Сталь 75Н2А	92	1,44	102	1,6	110	1,72
Сталь 45ХГНМФА	88	1,38	98	1,54	108	1,7

В шестой главе представлены результаты промышленных испытаний ленточных пил, прошедших предварительное упругопластическое деформирование в условиях лесопильного цеха ЗАО «Молодечномебель». Для распиловки древесины в ходе производственных испытаний использовались ленточные пилы фирмы Woodmizer, материал пил которой соответствует стали 45ХГНМФА. Испытания проводились для партии из 100 пил, 50 из которых прошли упрочнение. С целью исключения случайных факторов пилы, на которых производились производственные испытания, взяты из одной партии. При поставке пилы сварены в кольцо, заточены и разведены, вершинки зубьев закалены. Размеры ленточных пил: длина – 4000 мм, ширина – 32 мм, толщина полотна – 1 мм, шаг зубьев – 22 мм, высота зуба – 10 мм, зубья разведенные, величина развода на сторону – 0,25 мм, передний угол –  $10^\circ$ , задний угол –  $20^\circ$ , угол заточки –  $60^\circ$ .

Распиливаемый материал представлял собой неокоренные бревна дуба. Перед распиловкой производилась предварительная сортировка бревен по



диаметрам. Средний диаметр бревен во время проведения испытаний – 32 см. Влажность  $W$  – 30–35%. Длина бревен варьировалась от 3 до 4,5 м.

Результаты испытаний показали, что аварийный выход неупрочненных пил составил 46%, а для пил прошедших упругопластическое деформирование 10%, при этом их средний срок службы пил увеличился в пределах 20%. Одновременно возросла производительность ленточноцильного оборудования на 1,5–2% за счет снижения затрат времени на замену преждевременно вышедшего из строя инструмента. Эффективность внедрения способа предварительного упругопластического деформирования подтверждается полученным экономическим эффектом, составившим 1046 тыс. руб. в год на один станок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. В целях разработки способа упругопластического деформирования определены основные марки сталей, из которых изготавливаются ленточные пилы, соответствующие по химическому составу сталям 75А, 75Н2А и 45ХГНМФА. Установлены их основные механические характеристики: твердость 42–44 HRC, предел текучести  $\sigma_T$  895–1470 МПа, предел прочности  $\sigma_B$  1095–1470 МПа, модуль упругости  $E$   $1,92 \cdot 10^5$ – $2,18 \cdot 10^5$  МПа [7–А, 8–А].

2. Получены аналитические зависимости напряженного состояния ленточной пилы во время ее функционирования, которые позволили определить значения напряжений в ее полотне в зависимости от конструкционных и геометрических параметров станка и режимов распиловки в частности при распиловке древесины дуба: от неравномерного нагрева пилы 2–3 МПа; наличия направляющих устройств 60–95 МПа; от действия касательных сил резания 20–40 МПа; от действия нормальных сил резания 55–80 МПа; от наклона ведомого шкива 20–25 МПа. [1–А, 2–А, 6–А, 11–А].

3. Разработаны аналитические зависимости, описывающие схему нагружения образца ленточной пилы статической растягивающей и циклической изгибающей силой, приложенной по середине образца, позволившие установить, что при проведении усталостных испытаний образцов ленточных пил воспроизведение условий работы достигается при действии на образец растягивающей силы в пределах 1900–3000 Н и изгибающей силы в пределах 210–330 Н.

На основании полученных результатов разработана конструкция экспериментальной установки для проведения усталостных испытаний образцов ленточных пил, позволяющая воспроизводить статическое растяжение с силой до 3500 Н и циклический изгиб, позволяющий достичь величины напряжений в поперечном сечении образца до 900 МПа. [3–А, 5–А].

4. Разработан научно обоснованный способ подготовки к работе узких ленточных пил для распиловки бревен, включающий предварительное упругопластическое деформирование пилы путем обкатки на шкиве в холодном состоянии. Определены режимы проведения предварительного упругопластического деформирования при которых в поверхностных слоях пилы создаются остаточные напряжения сжатия 150–170 МПа, что соответствует диаметру

шкива 88–116 мм, и скорости обкатки полотна ленточной пилы по его поверхности 1,38–1,82 см/с. Разработанные режимы обеспечивают повышение предела ограниченной выносливости материалов (база испытаний  $10^7$  циклов) ленточных пил на 19–21%, позволившие увеличить средний срок службы пил до 20% [5–А, 7–А, 8–А, 9–А, 10–А, 12–А].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанный способ повышения усталостной долговечности узких ленточных пил для распиловки бревен путем упругопластического деформирования в холодном состоянии рекомендуется к использованию на предприятиях деревообрабатывающей промышленности оснащенных ленточнопильными станками для распиловки бревен и бруса.

Результаты диссертационной работы апробированы и приняты к практическому использованию на ЗАО «Молодечномебель» и ОАО «Поставымебель». Эффективность их внедрения подтверждена полученным экономическим эффектом на ЗАО «Молодечномебель» в 1046,2 тыс. руб. в год на один станок, в условиях ОАО «Поставымебель» 985 тыс. руб. в год на один станок, вследствие увеличения долговечности ленточных пил.

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс УО «Белорусский государственный технологический университет» по дисциплинам «Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессом резания» и «Детали машин».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК

1—А. Дулевич, А. Ф. Исследование причин возникновения усталостных трещин в полотнах ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2006. — Вып. XIV. — С. 251–253.

2—А. Дулевич, А. Ф. Механизм разрушения ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2007. — Вып. XV. — С. 283–286.

3—А. Киселев, С. В. Выбор схемы нагружения ленточных пил при их стеновом испытании / С. В. Киселев, С. С. Макаревич, А. Ф. Дулевич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2008. — Вып. XVI. — С. 299–302.

4—А. Дулевич, А. Ф. Установка для ускоренных испытаний ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2008. — Вып. XVI. — С. 318–322.

5—А. Дулевич, А. Ф. Способ повышения усталостной долговечности ленточных пил путем создания внутренних компенсирующих напряжений / А. Ф. Дулевич, С. С. Макаревич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2009. — Вып. XVII. — С. 331–333.

6—А. Дулевич, А. Ф. Методика определения температурных напряжений в полотне ленточной пилы / А. Ф. Дулевич, С. С. Макаревич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2009. — Вып. XVII. — С. 334–336.

7—А. Дулевич, А. Ф. Пути повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. — 2010. — Вып. XVIII. — С. 316–319.

8—А. Блохин, А. В. Статистический анализ результатов исследования влияния остаточных напряжений на усталостные характеристики ленточных пил для распиловки древесины / А. В. Блохин, С. В. Киселев // Труды БГТУ. — 2011. — № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. — С. 295–297.

9—А. Дулевич, А. Ф. Влияние параметров упругопластического деформирования на усталостную долговечность ленточных пил для распиловки древесины / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. — 2011. — № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. — С. 298–301.

10—А. Дулевич, А. Ф. Разработка режимов упругопластического деформирования ленточных пил для распиловки древесины с целью повышения их долговечности / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. — 2012. — № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. — С. 195–197.

11—А. Дулевич, А. Ф. Определение напряжений в полотне ленточной пилы от действия направляющих устройств / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. — 2013. — № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. — С. 225–227.

12—А. Киселев, С. В. Способ контроля параметров проведения упругопластического деформирования узких ленточных пил для распиловки бревен / С. В. Киселев, А. Ф. Дулевич, А. В. Блохин, // Труды БГТУ. — 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. — С. 182–184.

## Материалы научных конференций и тезисы докладов

13–А. Киселев, С. В. Перспективы использования ленточных пил / С. В. Киселев // НИРС-2005: тезисы докладов. X Респ. научн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 14–16 февр. 2006 г. в 3 ч. – Ч. 2. – С. 44–45

14–А. Киселев, С. В. Эффективность использования ленточных пил / Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, г. Могилев. 26 января, 2006 г. / Бел.-Рос. ун-т; – г. Могилев, 2006. – С. 46.

15–А. Киселев, С.В. Повышение усталостной долговечности ленточных пил путем упругопластического деформирования / Научные стремления – 2010: сб. материалов Респ. науч.-практ. молодежной конф. с междунар. Участием, Минск, 1–3 нояб. 2010 г.: в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси; редкол.: В. В. Казбанов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. Ч. 2. – С. 369–372.

16–А. Киселев, С. В. Повышение эффективности распиловки бревен узкими ленточными пилами путем снижения затрат на обслуживание оборудования / Киселев С. В., Блохин А. В. / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. трудов по материалам междунар. заочной науч.-практ. конф., Воронеж, 15–17 мая, 2014 г. / ВГЛТА. – Воронеж, 2014. № 3, Ч.2. – С. 357–361.

## Патенты

17–А. Установка для ускоренных испытаний ленточных пил: пат. 12621 Респ. Беларусь, МПК7 G 01N 3/08 G 01N 3/28 / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № а 20070876; заявл. 12.07.2007; опубл. 28.02.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 6. – С. 120.

18–А. Устройство для повышения долговечности ленточных пил: пат. 8142 Респ. Беларусь, МПК7 С 21D 7/02 / А. Ф. Дулевич, С.В. Киселев; заявитель Беларус. гос. технол. ун-т. – № и 20110792; заявл. 14.10.2011; опубл. 30.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 230.

## РЭЗЮМЭ

Кісялёў Сяргей Уладзіміравіч

Павышэнне стомленаснай даўгавечнасці вузкіх стужачных пілаў  
для распілоўвання бярэнаў папярэднім пругкапластычным  
дэфармаваннем

**Ключавыя словы:** дрэваапрацоўка, стужачная піла, стомленасная даўгавечнасць, напружаны стан, пругкапластычнае дэфармаванне.

**Мэта работы** – навуковае абгрунтаванне і распрацоўка спосабу і рэжымаў правядзення папярэдняга пругкапластычнага дэфармавання вузкіх стужачных пілаў для распілоўвання бярэнаў, які забяспечвае павышэнне іх стомленаснай даўгавечнасці і дазваляе знізіць расход пілаў, павялічыць прадукцыйнасць абсталявання і павысіць узровень бяспекі працы.

**Метады даследавання** – аналітычнае вызначэнне напружанага стану палатна пілы падчас функцыянавання і эксперыментальнага ўзора стужачнай пілы, фрактаграфічны аналіз паверхняў зломаў, стомленасныя выпрабаванні матэрыялаў. Падчас правядзення даследаванняў выкарыстоўваліся наступныя прыборы: спектрометр Spectrolab M5, тэнзаметрычная вымяральная сістэма SPIDER 8, аптычны пірометр OPTRIS CT, універсальны дынамаметрычны мост УДМ 1200, тэнзаметрычная вымяральная сістэма EX-UT10, электронны мікраскоп JOEL.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў** – распрацаваны аналітычныя залежнасці напружанага стану палатна вузкай стужачнай пілы падчас функцыянавання, а таксама аналітычныя залежнасці, якія апісваюць схему нагружэння ўзору стужачнай пілы, якая дазволіла стварыць канструкцыю эксперыментальнай устаноўкі для стомлесных выпрабаванняў пілаў. Праведзена навуковае абгрунтаванне спосабу падрыхтоўкі стужачнай пілы, заснаванага на стварэнні зададзеных папярэдніх астаткавых напружанняў і дэфармацый у сячэнні палатна пілы з мэтай зніжэння амплітудных значэнняў напружанняў, якія ўзнікаюць у час працы. Створана ўстаноўка для правядзення пругкапластычнага дэфармавання і вызначаны рэжымы яго правядзення, з улікам сталяў прымяняльных для вырабу пілаў, якія забяспечваюць павышэнне тэрміну службы да 20%.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні** – вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў былі прынятыя да выкарыстання ЗАТ «Маладзечнаэбля», ААТ «Паставымэбля», а таксама адбылося іх укараненне ў вучэбны працэс УА «Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт».

**Вобласць прымянення** – дрэваапрацоўчыя прадпрыемствы, якія выкарыстоўваюць стужачнапільныя станкі.

## РЕЗЮМЕ

Киселев Сергей Владимирович

Повышение усталостной долговечности узких ленточных пил для распиловки бревен предварительного упругопластического деформирования

**Ключевые слова:** деревообработка, ленточная пила, усталостная долговечность, напряженное состояние, упругопластическое деформирование.

**Цель работы** – научное обоснование и разработка способа и режимов проведения предварительного упругопластического деформирования узких ленточных пил для распиловки бревен, обеспечивающего повышение их усталостной долговечности и позволяющего снизить расход пил, увеличить производительность оборудования и повысить уровень безопасности труда.

**Методы исследования** – аналитическое определение напряженного состояния пилы во время ее функционирования и экспериментального образца пилы, фрактографический анализ поверхностей изломов, усталостные испытания материалов. При проведении исследований использовались следующие приборы: спектрометр Spectrolab M5, тензометрическая измерительная система SPIDER 8, оптический пирометр OPTRIS CT, универсальный динамометрический мост УДМ-1200, тензометрическая измерительная система EX-UT10, электронный микроскоп JOEL.

**Научная новизна полученных результатов** – разработаны аналитические зависимости напряженного состояния узкой ленточной пилы во время ее функционирования. Получены аналитические зависимости, описывающие схему нагружения образца ленточной пилы, позволившие создать конструкцию экспериментальной установки для усталостных испытаний пил. Проведено научное обоснование способа подготовки ленточной пилы, основанного на создании заданных предварительных остаточных напряжений и деформаций в сечении полотна пилы с целью снижения амплитудных значений напряжений, возникающих во время работы. Создана установка для проведения упругопластического деформирования и определены режимы его проведения, с учетом применяемых сталей для изготовления пил, обеспечивающих повышение срока службы до 20%.

**Рекомендации по использованию** – результаты теоретических и экспериментальных исследований приняты к использованию на ЗАО «Молодечно-мебель», ОАО «Поставымебель» и внедрены в учебный процесс УО «Белорусский государственный технологический университет».

**Область применения** – деревообрабатывающие предприятия, использующие ленточнопильные станки.

**SUMMARY**  
**Sergey V. Kiselev**

Increase the fatigue life of the narrow band saws for sawing of logs  
through preliminary elastoplastic deformation

**Key words:** woodworking, band saw blade, fatigue durability, the state of stress, elastoplastic deformation.

**Research objective:** scientific substantiation method, and modes of preliminary elastoplastic deformation of the narrow band saws for sawing of logs, providing the increase of the fatigue life and reduces the need to saws, increase the productivity of equipment and improve safety.

**Methods investigation** – analytical determination of the stress state of the saw blade and the sample band saw, fractographic analysis of fracture surfaces. In the study, the following instruments are used: spectrometers Spectrolab M5, strain gage measurement system SPIDER 8, optical pyrometer OPTRIS CT, universal dynamometric bridge УДМ 1200, strain gage measurement system EX-UT10, electron microscope JOEL.

**The results obtained and their novelty** – developed analytical relationships stress state narrow band saw during operation. Analytical dependences describing the scheme loading of sample bandsaw, allowed creating the design of the experimental setup for fatigue testing of band saws. Scientific substantiation of the method of preparation of band saw, based on the creation of preliminary defined residual stresses and strains in the blade to reduce the amplitude values of the stresses arising during operation. The installation for the elastoplastic deformation and defined modes of the meeting, considering subject of the steel used for the manufacture of saws providing the longer life up to 20%.

**Research objective** – results of theoretical and experimental studies adopted for use at companies "Molodechnomebel", "Postavymebel" and introduced in the educational process in EI "Belarusian State University of Technology".

**Field of application** – woodworking companies using band saws.

Научное издание

Киселев Сергей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
УЗКИХ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ БРЕВЕН  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИМ  
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.05 – древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

Ответственный за выпуск С. В. Киселев

Подписано в печать 09.10.2014. Формат бумаги 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.

Тираж 60 экз. Заказ 432.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014

ЛП № 02330/12 от 30.12.2013.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.