

На правах рукописи



Охлопкова Анна Юрьевна

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ДАУРСКОЙ**

05.21.05 – Дровесиноведение, технология и оборудование
деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Научный руководитель: Глухих Владимир Николаевич,
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Тамби Александр Алексеевич,
доктор технических наук, доцент,
спец. 05.21.05.
Заместитель Генерального директора
по развитию ООО «ТИС»

Храброва Ольга Юрьевна,
кандидат технических наук,
спец. 05.21.05.
инженер-технолог отдела
развития производства
ООО ПФ «Инзенский ДОЗ»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тихоокеанский
государственный университет»

Защита диссертации состоится «14» июня 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.220.03 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» (194021, Санкт-Петербург, Институтский пер. 5, главное здание, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» и на сайте http://spbftu.ru/wp-content/uploads/2018/03/Dissertaciya-Ohlopkova-A.UY_.pdf

Автореферат разослан «12» апреля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Алексей Романович Бирман

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень ее разработанности

Российская Федерация обладает большими запасами хвойной древесины, значительную часть которых составляет древесина лиственницы даурской. Однако ее промышленная переработка сдерживается высокими производственными затратами, вызванными значительным засмаливанием режущего инструмента и повышенным короблением и растрескиванием пиломатериалов в процессе сушки.

В области научных исследований совершенствования технологии конструкционных пиломатериалов на основе природных особенностей лиственницы даурской известны работы Бокщанина Ю. Р., Соколова П. В., Исаева С. П., Боровикова А. М., Леонтьева Н. Л., Уголева Б. Н., Серговского П. С., Мелехова В. И., Титунина А. А., Чубинского А. Н., Харитонов Г. Н., Глухих В. Н., Тамби А. А., Ашкенази Е. К., Кузнецова А. И., Белова С. В., Лехницкого С. Г., Темнова В. Г., Lundahl С. G., Oja J., Heikkonen S., Kubler H., Ylinen A. и других.

Многие исследователи как микро-, так и макро- строения древесины отмечают высокую корреляцию строения ствола дерева с условиями произрастания, генетической наследственностью, а также внешним воздействием. Как природный материал растительного происхождения древесный ствол формируется и развивается в соответствии с основными законами бионики (В. Г. Темнов, А. И. Кузнецов, С. В. Белов, В. Н. Глухих, Е. К. Ашкенази и др.). В своей структуре и свойствах древесный ствол отвечает принципам экономии материала и энергии, обеспечения надежности и устойчивости. Не сложно предположить наличие внутренних напряжений, обеспечивающих рост и развитие живого организма при обеспечении указанных принципов. А, следовательно, и определяющую роль влияния начальных напряжений (напряжений роста) на возникновение, положение и характеристики пороков строения древесины, формирование ее прочности в различных структурных направлениях.

В связи с недостаточной изученностью свойств древесины лиственницы даурской диссертационная работа является актуальной.

Цель работы – Повышение качества и совершенствование технологии конструкционных пиломатериалов из древесины лиственницы даурской.

Задачи работы

- исследование влияния начальных напряжений на строение древесного ствола лиственницы даурской и на формирование смоляных кармашков;
- исследование распределения начальных напряжений в стволе дерева, прогнозирование деформации пиломатериалов в зависимости от их размеров, положения в бревне, размеров ядровой зоны и сбега ствола;
- разработка математических моделей для получения программных алгоритмов по оптимизации раскроя сырья;
- разработка технологических решений, снижающих потери производства и повышающих эффективность переработки древесины лиственницы даурской.

Научной новизной обладают:

- методика определения начальных напряжений в зависимости от соотношения радиуса ядровой древесины к радиусу сечения ствола дерева;
- зависимости распределения главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола лиственницы даурской;
- математические модели изгибающих моментов от действия начальных напряжений на торцах пиломатериалов, в зависимости от их сечения, длины и положения в сечении бревна для исследования продольной покоробленности пиломатериалов после выпилки и последующей сушки, а также расчетах длин, компенсирующих покоробленность по пласти собственным весом пиломатериала.

Теоретическая значимость:

- обосновано влияние закона распределения начальных напряжений на соотношение прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в древесине лиственницы даурской;

- выявлена связь между начальными напряжениями и формированием кармашков, а также деформацией пиломатериалов;

- установлены зависимости главной относительной деформации в радиальном направлении и моментов действия сил на торцах пиломатериалов от распределения начальных напряжений в сечении ствола дерева и от их положения в сечении бревна;

- обоснована методика определения необходимых и достаточных длин пиломатериалов для компенсации естественного коробления по пласти.

Практическая значимость.

Применение на практике полученных результатов позволит:

1) использовать полученные математические модели для создания программных алгоритмов расчета оптимального раскроя пиловочника в режиме реального времени.

2) скорректировать правила сортировки пиловочника с учетом соотношения радиуса ядровой древесины к радиусу сечения ствола дерева; скорректировать правило составления карт раскроя с учетом равнодействующей силы действия начальных напряжений на торцах пиломатериалов; скорректировать правила укладки сушильных штабелей/пакетов с учетом укладки верхних рядов из пиломатериалов с равным распределением начальных напряжений.

3) снизить потери пиломатериалов и повысить эффективность производства конструкционных пиломатериалов за счет всех видов деформации как свежеспиленных пиломатериалов, так и пиломатериалов после проведения сушки.

Методология и методы исследования

Исследования проводились на основе теоретического и экспериментального изучения влияния начальных напряжений, формирующихся в стволах деревьев в процессе их роста, на качество конструкционных пиломатериалов. Экспериментальные результаты обрабатывались методами математической статистики с использованием стандартных пакетов прикладных программ.

Положения, выносимые на защиту:

- распределение начальных напряжений в стволе лиственницы даурской соответствует закону параболоида;
- граница перемены знака начальных напряжений соответствует переходу заболони к ядровой древесине и для лиственницы даурской находится в пределах 0,8...0,9 радиуса ствола дерева;
- появление смоляных кармашков на границе перехода от заболонной древесины к ядровой является следствием возникновения максимальных начальных напряжений от действия критической ветровой нагрузки;
- величина покоробленности свежеспиленных пиломатериалов зависит от характера распределения начальных напряжений в пиловочнике.

Степень достоверности и апробации результатов

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректными допущениями при замене реальных процессов их математическими моделями, современными средствами научного поиска, приемлемым совпадением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, положительными результатами промышленной апробации, экономической эффективностью применения разработанной технологии в производственных условиях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных публикаций, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых изданиях из Перечня ВАК, одна в журнале индексируемом в базе Scopus. Основные положения были презентованы в рамках 11-ой международной конференции «Large-Scale Scientific Computations. LSSC'17», г. Созополь, Болгария, на научных конференциях СПбГЛТУ в 2016 и 2017г.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цели и задачи исследований, приводятся основные положения диссертации, которые выносятся на защиту, обосновывается их научная новизна. Содержатся данные о месте проведения и апробации работы, внедрения результатов в промышленность.

В первом разделе «Анализ состояния вопроса производства конструкционных пиломатериалов» приведен обзор и анализ литературных источников, посвященный изучению современного состояния технологии конструкционных пиломатериалов и направлениям ее развития. Приведен обзор современной технологии лесопиления на базе фрезерно-брусующих и фрезерно-профилирующих агрегатов как наиболее распространенной и перспективной. Рассмотрены действующие государственные и международные стандарты на пиломатериалы. Приведен краткий обзор технологии сушки пиломатериалов и причин возникновения таких дефектов как покоробленность. Представлен краткий обзор особенностей конструкционных пиломатериалов из лиственницы даурской и требования к ним на целевых рынках сбыта. Описаны возможные методы сортировки конструкционных пиломатериалов и нормативные требования к классам прочности. Кратко рассмотрено типовое оборудование для сортировки пиломатериалов по прочности, а также мировые новинки и разработки в области прочностной сортировки. Представлен краткий обзор работ в области изучения строения древесины и возможности прогнозирования свойств продукции.

Во втором разделе «Теоретический анализ закономерностей получения конструкционных пиломатериалов» приведено обоснование формирования начальных напряжений в процессе роста дерева согласно основным принципам бионики, обеспечивающим прочность и устойчивость древесного ствола под действием ветровой нагрузки и собственного веса. С появлением начальных напряжений, в дереве начинает формироваться прочность клеток древесины. В наиболее напряженные участки ствола увеличивается приток питательных ве-

ществ, и древесина отвечает на внешние воздействия увеличением толщины стенок клеток, плотности, модуля упругости и т.д. В центральной зоне ствола возникают начальные напряжения сжатия вдоль волокон, в периферийной зоне – растяжения.

В главе обоснована связь относительного размера ядровой зоны с напряженным состоянием. Принятая гипотеза о параболическом распределении начального напряжения в направлении вдоль волокон позволяет не только установить размеры ядровой и заболонной зон, но и математически связать между собой пределы прочности древесины при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе. Что подтверждается результатами многочисленных экспериментальных исследований многих российских и иностранных исследователей. Согласно приведенным расчетным данным, отношение пределов прочности древесины различных пород при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе, зависит от характера распределения начальных напряжений по объему ствола дерева и может быть описано математически.

С помощью разработанных математических моделей при использовании отношений радиусов ядровой и заболонной зон сечений стволов можно определять соотношение прочности древесины при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе. А в соответствии с основными принципами бионики, у древесины как реагирующего материала, характер распределения начальных напряжений по объему ствола дерева позволяет прогнозировать образование пороков строения.

Проанализированы работы по напряженно-деформированному состоянию древесного ствола и распределению внутренних напряжений как отечественных, так и зарубежных авторов. Было установлено, что на начальные напряжения накладываются циклические напряжения растяжения и сжатия, возникающие при ветровой нагрузке. И, как уравновешенная система и живой организм, древесный ствол стремится компенсировать возникающие нагрузки за счет увеличения плотности стенок клеток, модуля упругости, изменения их структуры. Воз-

никновение предельных нагрузок, а также цикличность напряжений при раскачивании дерева приводит к микроповреждениям – трещинам. В случае с хвойными породами, образовавшиеся полости заполняются природным антисептиком – смолой. Под воздействием переменных сжимающих и растягивающих напряжений происходит дальнейшее увеличение полости и увеличение смоляного кармашка. В соответствии с характером распределения начальных напряжений в радиальном и тангенциальном направлениях кармашки будут образовываться в местах возникновения наибольших радиальных напряжений растяжения.

Основываясь на том, что форма ствола дерева соответствует форме стержня равного сопротивления, при котором напряжения в наружных волокнах при изгибе должны быть одинаковыми по всей высоте ствола, был произведен расчет окружных и радиальных напряжений по радиусу сечения ствола дерева. При учете взаимосвязи между размером ядровой зоны, напряжениями в центре и на контуре сечения и пределами прочности древесины при статическом изгибе и сжатии, для расчета начальных напряжений в стволе древесины лиственницы даурской была применена функция распределения начального продольного напряжения в виде параболоида 14-ой степени. Эпюра суммарного напряжения в стволе лиственницы даурской приведена на рисунке 1.

В результате вычислений, на основе обобщенного закона Гука, был получен график распределения главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола (рисунок 2).

В качестве подтверждения теории формирования кармашков были проведены лабораторные испытания в радиальном направлении по диаметру сечения ствола.

Выпиливаемые из стволов пиломатериалы и заготовки конструкционного назначения для производства строительных деревянных конструкций оказываются напряженными, как и древесина стволов деревьев. В результате появления начальных напряжений понижается прочность и несущая способность деревянных конструкций. Поэтому далее, в этой главе рассмотрены вопросы влияния

начальных напряжений на изгибающий момент результирующих сил после выпиливания пиломатериалов из пиловочника, приводящий к их естественной деформации изгиба (продольной покоробленности), а также на прочностные характеристики пиломатериалов.

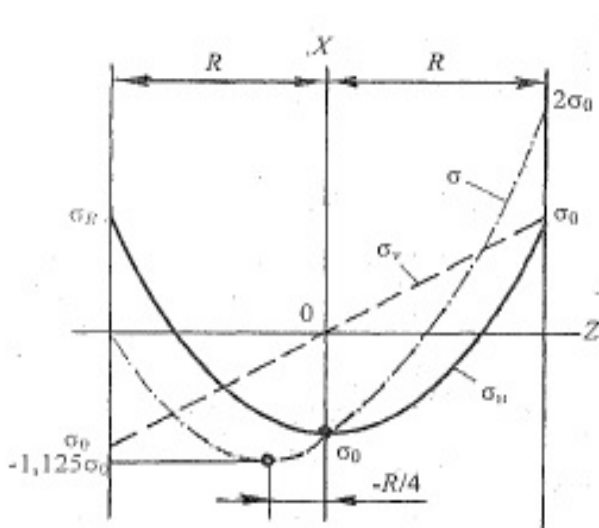


Рисунок 1. Эпюры суммарного напряжения с учетом ветровой нагрузки в стволе лиственницы даурской.

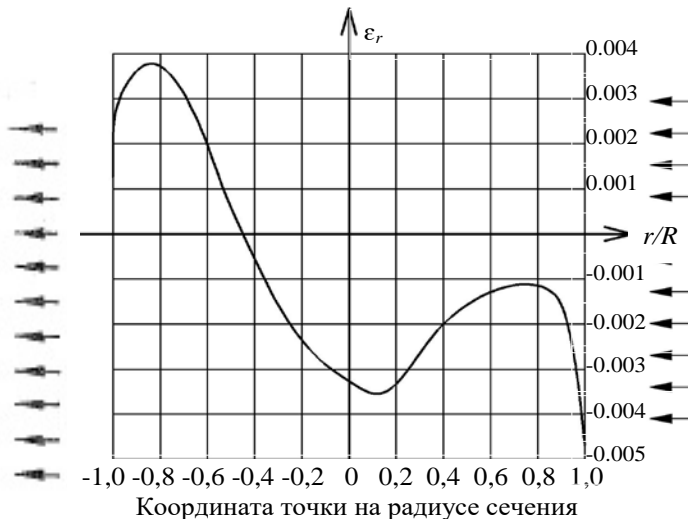


Рисунок 2. Распределение главной относительной деформации

В третьем разделе «Общие методические положения» описаны полевые исследования положения кармашков в стволе дерева лиственницы даурской, проведенные с целью сбора статистических данных, их анализа и получения математических зависимостей с морфологическими параметрами дерева для последующего использования в математическом моделировании при решении задач по оптимизации объемно-ценностного выхода конструкционных пиломатериалов.

В результате проведенного исследования выявлена зависимость положения кармашков от качественных зон ствола, а также от основных морфологических параметров ствола дерева. Вычислены границы скопления кармашков по толщине и длине ствола дерева. В результате исследования выявлено одинаковое количество кармашков с северной и южной сторон сердцевинной вырезки. Более половины обнаруженных кармашков находились в зонах, включавших прочие пороки строения древесины. Наиболее явная зависимость выявлена в отношении

зон присучковой древесины, границ перехода от ядровой к заболонной и от заболонной к лубяной паренхиме.

При этом, количество кармашков различается в зависимости от формы ствола (прямой, с искривлением), ветвистостью, местоположением дерева (в глубине массива или на опушке). Распределение длин и толщин кармашков в стволах лиственницы даурской подчиняется законам нормального распределения. Распределение кармашков по длине ствола согласуется с местоположением его качественных зон, таких как комлевая часть, зона образования мутовок и залегания крупных ветвей, местом крепления кроны. Максимальное количество кармашков приходится на вторую из трех секций по длине ствола.

По толщине ствола количество кармашков максимально в зоне, близкой к границе ядровой древесины и заболони, примерно 0,65...0,95 отношения радиуса заболони к радиусу сечения ствола (рисунок 3).



Рисунок 3. Распределение кармашков по сечению ствола

Наличие и возникновение кармашков связано с наличием и возникновением других пороков древесины. Замечена закономерность — обязательное наличие кармашков в присучковой древесине крупных ветвей.

Далее в главе приведена методика проведения исследований по изучению влияния начальных напряжений и собственного веса пиломатериалов на величину их деформации по кромке и по пласти.

Согласно существующих гипотез на коробление пиломатериалов оказывают влияния различные факторы, такие как: особенности микро- и макростроения древесных пород; условия произрастания и внешние воздействия; технология и степень обработки пиломатериалов и прочее. Для выявления и оценки действия на величину покоробленности непосредственно начальных напряжений были выбраны свежеспиленные пиломатериалы и собраны простейшие установки (со строганной базовой поверхностью и опорными брусками из той же породы) для проведения исследований непосредственно на производственной площадке.

Полученный в результате проведенных наблюдений массив данных был проанализирован с учетом особенностей объекта исследования.

Зафиксированы разные величины прогиба для одних и тех же пиломатериалов при наблюдении на двух установках. Существует разница в величине прогиба по внутренней и по наружной пласти пиломатериалов (рисунок 4). Величина коробления по пласти от действия начальных напряжений имеет меньшее значение для более толстых и широких пиломатериалов. Прогиб по кромке имеет приблизительно одинаковое значение для разных сечений пиломатериалов. При смещении сечения доски относительно положения сердцевины к периферии, а также при увеличении отношения радиусов ядровой зоны и сечения бревна прогиб пиломатериалов возрастает.

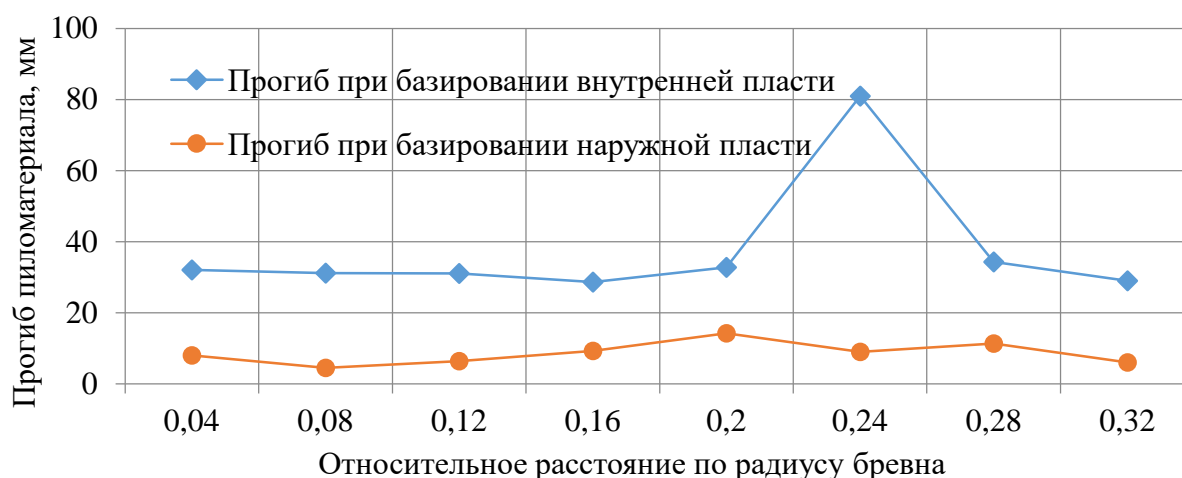


Рисунок 4. Покоробленность по пласти под действием собственного веса в зависимости от смещения доски сечением 54x156 относительно сердцевины

В четвертой главе «Экспериментальные исследования влияния действия начальных напряжений на качество пиломатериалов» представлено обоснование предположения о влиянии начальных напряжений, формирующихся в процессе роста дерева под действием собственного веса ствола и ветровой нагрузки, на деформации пиломатериалов при последующем раскросе древесины. Вследствие разности характеристик ядровой и заболонной частей дерева представлено обоснование зависимости величины и характера распределения напряжений в поперечном сечении ствола дерева от соотношения радиуса ядровой древесины к радиусу ствола дерева. Известно, что по высоте ствола дерева от комля к вершине относительный размер заболонной зоны увеличивается за счет уменьшения наружного диаметра сечения. На основании известных исследований расчетную схему ствола можно принять в виде равнопрочного стержня жестко защемленного в комлевой части. Это означает, что продольные напряжения в периферийных волокнах не изменяются по высоте ствола. Как показывают наши исследования, величина максимального сжимающего напряжения по высоте ствола изменяется. На основании основных принципов бионики можно предположить, что прочность древесины от комлевой части ствола до вершинной при сжатии вдоль волокон будет изменяться.

В качестве примера приведен расчет отношения пределов прочности древесины при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон (таблица 1). По результатам исследования можно оценивать прочность древесины лиственницы даурской при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в сопоставлении друг с другом. Теоретически прогнозируется некоторое снижение прочности при сжатии вдоль волокон для древесины любой породы в направлении от вершинного торца к комлевому. Для проверки этого предположения требуется проведение дополнительного экспериментального исследования.

Далее в главе представлено решение задачи по определению изгибающего момента от действия начальных напряжений в пиломатериалах, сформировавшихся в процессе роста деревьев лиственницы даурской.

Таблица 1

Расчетные значения пределов прочности $\sigma_{ВИ}$ и $\sigma_{ВС}$ ядровой зоны

Радиус торца	вершинного $n=2$	комлевого $n = 8$
	$R_{0(В)} = 0,707R_B = 70,7\text{мм}$	$R_{0(К)} = 0,818R_K = 122,7\text{мм}$
Радиус торца, мм	$R_B = 100\text{мм}$	$R_K = 150\text{мм}$
Ширина заболони, мм	$S_B = 100 - 70,7 = 29,3\text{мм}$	$S_K = 150 - 122,7 = 27,3\text{мм}$
Отношение пределов прочности при изгибе и сжатии вдоль волокон	$\frac{\sigma_{ВИ}^{(В)}}{\sigma_{ВС}^{(В)}} = 1,778$	$\frac{\sigma_{ВИ}^{(К)}}{\sigma_{ВС}^{(К)}} = 2,273$
Предел прочности при сжатии вдоль волокон	$\sigma_{ВС}^{(В)} = \frac{\sigma_{ВИ}^{(В)}}{1,778} = 0,56243\sigma_{ВИ}$	$\sigma_{ВС}^{(К)} = \frac{\sigma_{ВИ}^{(К)}}{2,273} = 0,44\sigma_{ВИ}$
Отношение прочности при сжатии вдоль волокон	$\frac{\sigma_{ВС}^{(В)}}{\sigma_{ВС}^{(К)}} = \frac{0,56243\sigma_{ВИ}}{0,44\sigma_{ВИ}} = 1,27825$	
Предел прочности при статическом изгибе	$\sigma_{ВИ}^{(В)} = 1,778\sigma_{ВС}^{(В)}$	$\sigma_{ВИ}^{(К)} = 2,273\sigma_{ВС}^{(К)}$
Отношение прочности при статическом изгибе	$\frac{\sigma_{ВИ}^{(В)}}{\sigma_{ВИ}^{(К)}} = \frac{1,778\sigma_{ВС}^{(В)}}{2,273\sigma_{ВС}^{(К)}} = 0,7822$	

Формула начального напряжения, при распределении начальных напряжений по объему ствола дерева соответствующему закону параболоида 14-й степени, имеет вид:

$$\sigma_H = k_{14}(z^2 + y^2)^7 - \sigma_0, \quad (1)$$

где $k_{14} = \frac{\sigma_0 + \sigma_R}{R^{14}}$; k_{14} – коэффициент, учитывающий напряжения в периферийных и центральных волокнах;

σ_0 и σ_R – начальные напряжения в направлении вдоль волокон древесины в центре сечения ствола и на его периферии;

R – радиус исследуемого сечения ствола дерева.

В зависимости от положения пиломатериалов на схеме раскроя бревна на их торцах после выпилки возникает результирующая пара сил от действия начальных напряжений (рисунок 5).

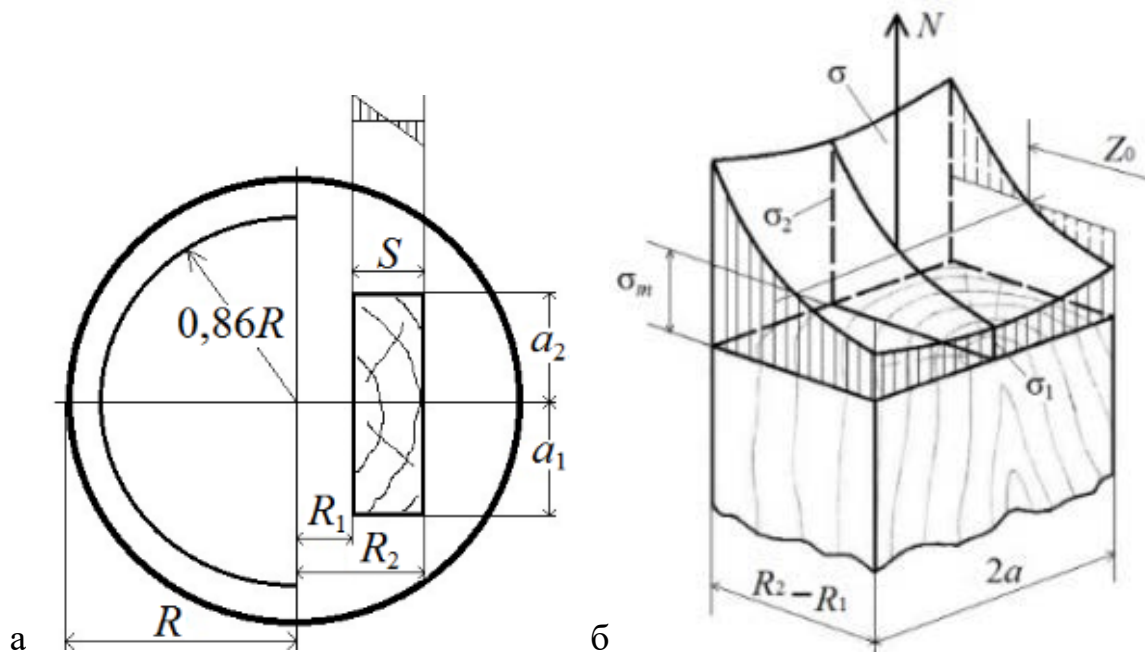


Рисунок 5. А. Схема расположения доски в сечении бревна; Б. Распределение начальных напряжений вдоль волокон доски до выпилки ее из бревна

Изгибающий момент в плоскости ZOX (изгиб по пласти):

$$\begin{aligned}
 M_{y_0} = & \int_{a_1}^{a_2} dy \int_{R_1}^{R_2} k_{14} \left[(z^2 + y^2)^7 - \frac{1}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left\{ \frac{R_{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} R_{13} a_3 + \right. \right. \\
 & + \frac{21}{55} R_{11} a_5 + \frac{35}{63} R_9 a_7 + \frac{35}{63} R_7 a_9 + \frac{21}{55} R_5 a_{11} + \frac{7}{39} R_3 a_{13} + \left. \left. \frac{R_2 - R_1}{15} a_{15} \right\} \right] z dz = \\
 = & k_{14} \left[\frac{1}{16} (R_2^{16} - R_1^{16})(a_2 - a_1) + \frac{1}{6} (R_2^{14} - R_1^{14})(a_2^3 - a_1^3) + \frac{7}{2} (R_2^{12} - \right. \\
 & - R_1^{12})(a_2^5 - a_1^5) + \frac{1}{2} (R_2^{10} - R_1^{10})(a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{72} (R_2^8 - R_1^8)(a_2^9 - a_1^9) + \\
 & + \frac{7}{22} (R_2^6 - R_1^6)(a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{52} (R_2^4 - R_1^4)(a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{30} (R_2^2 - R_1^2)(a_2^{15} - \\
 & - a_1^{15}) - (R_2 + R_1) \left\{ \frac{1}{30} (R_2^{15} - R_1^{15})(a_2 - a_1) + \frac{7}{78} (R_2^{13} - R_1^{13})(a_2^3 - a_1^3) + \right. \\
 & + \frac{21}{110} (R_2^{11} - R_1^{11})(a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{126} (R_2^9 - R_1^9)(a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{126} (R_2^7 - R_1^7)(a_2^9 - \\
 & - a_1^9) + \frac{21}{110} (R_2^5 - R_1^5)(a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{78} (R_2^3 - R_1^3)(a_2^{13} - a_1^{13}) + \\
 & \left. \left. + \frac{1}{30} (R_2 - R_1)(a_2^{15} - a_1^{15}) \right\} \right], \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $R_i = R_2^i - R_1^i$; $a_i = a_2^i - a_1^i$;

Прогиб посередине пролета пиломатериала без учета собственного веса:

$$y_m = \frac{M_1 + M_2}{16EJ_z} \cdot l^2 \quad (3)$$

где M_1 и M_2 – изгибающие моменты в плоскости ZOX, действующие в вершинном и комлевом торце доски;

E – модуль упругости древесины, МПа;

$J_z = \frac{BS^3}{12}$ – осевой момент инерции сечения доски, мм⁴;

l – длина пиломатериалов, мм.

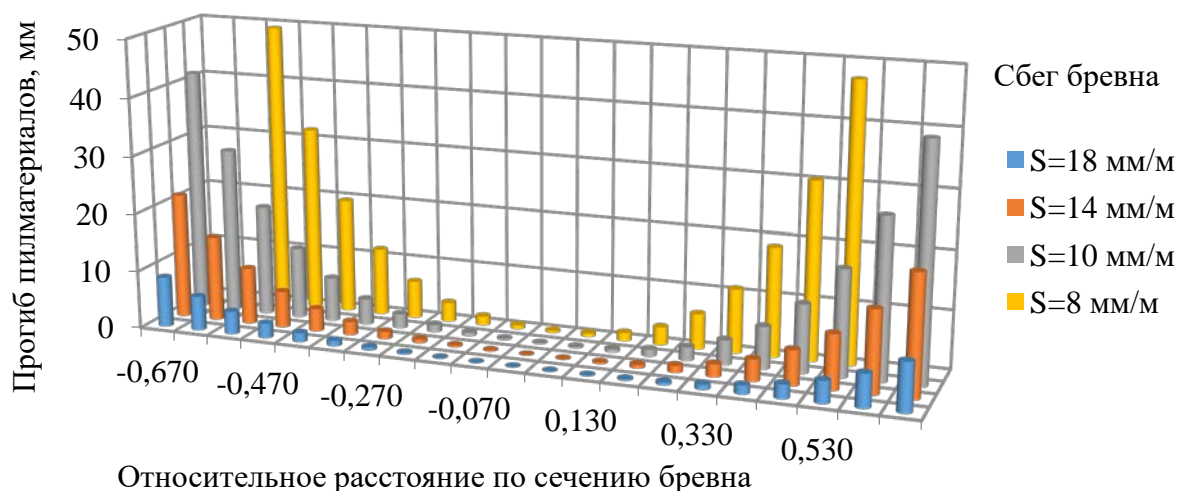


Рисунок 6. Прогиб пиломатериала сечением 16x75 длиной 6 м

Прогиб в середине пролета, вызванный собственным весом доски, рассчитывается по формуле:

$$y = \frac{5ql^4}{384EJ_z} \quad (4)$$

где q – распределенный вес пиломатериала, Н/мм;

l – длина пиломатериала, м;

E – модуль упругости древесины, МПа;

J_z – осевой момент инерции сечения доски.

Получены математические модели для исследования начальных напряжений и прогиба пиломатериалов от действия начальных напряжений (рисунок 6) и собственного веса, позволяющие установить размер длины досок, при котором их результирующий прогиб будет равен нулю и установить необходимое и достаточное расстояние между межрядными прокладками для снижения продольного коробления пиломатериалов по пласти (рисунок 7).

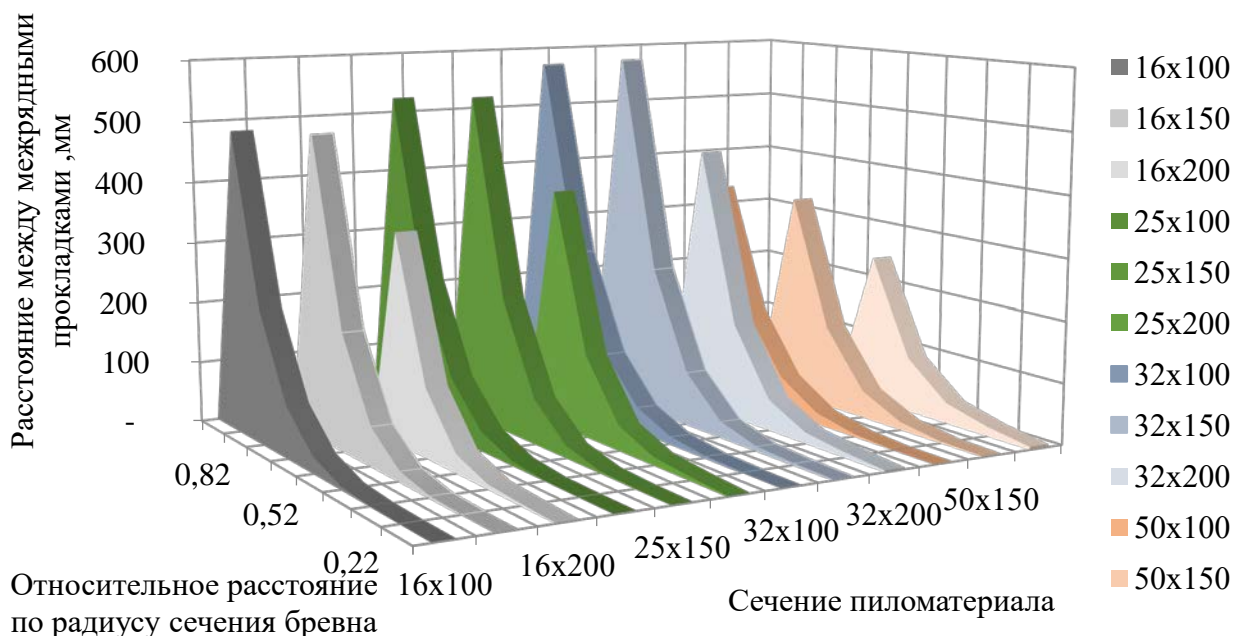
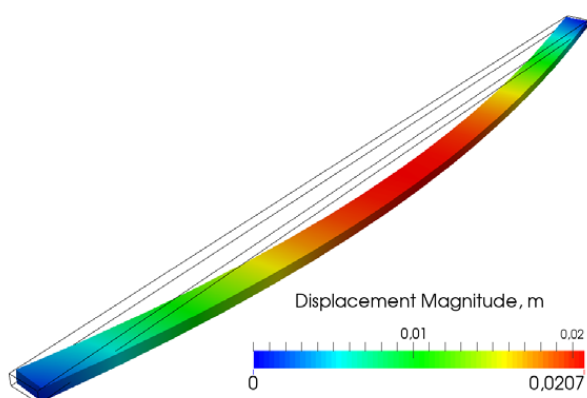


Рисунок 7. Определение необходимого и достаточного расстояния между межрядными прокладками для компенсации коробления от действия начальных напряжений собственным весом

Таким образом, в зависимости от расположения пиломатериалов в сечении бревна, возможно прогнозировать величину продольного коробления от действия начальных напряжений пиломатериалов после выпилки. На основании выдвинутой гипотезы и результатов разведывательных опытов было проведено численное моделирование математической модели продольного коробления пиломатериалов. Вычислительный алгоритм основывался на определении перемещений методом конечного элемента.



Численное решение, найденное для задачи линейной упругости для пиломатериалов с анизотропной упругой природой, характеризуется адекватным распределением прогиба по пласти с максимальным значением в пределах зафиксированных в результате наблюдений за реальными пиломатериалами (рисунок 8).

Рисунок 8. Распределение величины прогиба по длине пиломатериала

В пятом разделе «Технико-экономическая эффективность результатов исследований» представлены результаты апробации основных положений диссертационной работы на двух лесопильных предприятиях Дальнего Востока РФ, специализирующихся на переработке лиственницы даурской – ООО «Алмаз», г.Якутск и ООО «Азия Лес», г.Хабаровск. На втором предприятии – апробация проводилась для двух пород (лиственница даурская и ель аянская).

В первом случае были проведены работы по корректировке правил сортировки пиловочника по кривизне. Каждая группа диаметров была разделена на пиловочник с кривизной в пределах 1% (равномерное распределение начальных напряжений) и пиловочник с кривизной до 2% (с неравномерным распределением начальных напряжений). Для каждой группы диаметров были разработаны отдельные карты раскроя, с учетом особенностей оборудования и продукции.

Поставы для пиловочника с кривизной в пределах 1% разрабатывались в соответствии с классической теорией раскроя, с соблюдением правила технологичности постова 0,707D, на основании утверждения о равном распределении внутренних напряжений ствола дерева. Пиловочник с кривизной в пределах 2% распиливался по специально разработанным постовам, учитывающим влияние действия начальных напряжений и их неравномерного распределения в сечении ствола дерева, и в соответствующем распределении пороков строения по толщине ствола, а также систему подачи и конструкцию пильного узла головного станка.

В результате проведенного внедрения на предприятии ООО «Алмаз» удалось повысить выход экспортного пиломатериала из древесины лиственницы даурской с 70 до 75%.

Были проведены тестовые сушки пиломатериалов из древесины лиственницы даурской при соблюдении разработанных правил укладки сушильных пакетов в соответствии с произведенными расчетами необходимого и достаточного количества верхних рядов штабеля для прижима и удержания пиломатериалов во время сушки. А в верхние ряды укладывались только пиломатериалы выпиленные из бревен с кривизной в пределах 1% с симметричным расположением

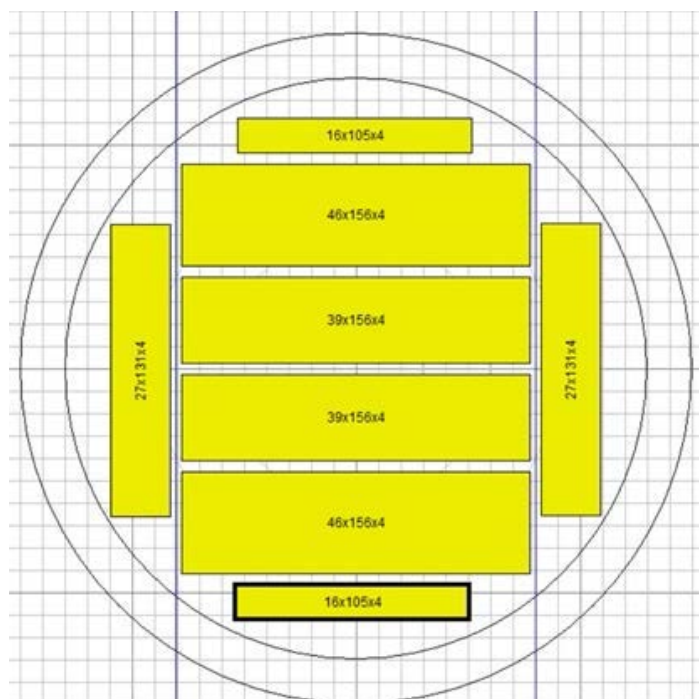
поставка и с равномерным распределением внутренних напряжений в сечении пиломатериала. В результате проведенных опытных сушек процент продольной покоробленности по пласти и кромке снизился на 2%.

На втором предприятии в целях повышения эффективности работы от внедрения научных разработок был проведен комплекс мероприятий, включающий:

1) формирование жесткого плана пиления – один постав для одной группы диаметров;

2) при формировании поставов скорректировано правило оптимальности поставка. Карты раскроя были составлены с учетом действия начальных напряжений и закономерностей расположения пороков строения древесины в древесном стволе, а также технологических особенностей исполнительных механизмов лесопильной линии завода (рисунок 9);

3) формирование сушильных пакетов с учетом основных положений теории



влияния начальных напряжений на деформации пиломатериалов;

Дополнительно следует отметить, что требования к качеству продукции, учетная политика компании и технический контроль соблюдения режимов работы намеренно не изменялись во все время проведения апробации. Непосредственные исполнители всех этапов работ также не заменялись.

Рисунок 9. Карта раскроя пиловочника диаметром 28 см с учетом действия начальных напряжений

В результате внедрения основных положений диссертации на ООО «Азия Лес» было получено до 16,7% дополнительного объема продукции к месячному объему. Оборот сушильного комплекса увеличился до 1500м³ пиломатериалов в

месяц за счет сокращения сроков сушки. Кроме того, было достигнуто снижение брака по покоробленности и трещинам на 4%. Выход продукции для отгрузки в Японию, Южную Корею и страны Евросоюза повысился с 55-60% до 65-70%. Доходность предприятия увеличилась на более чем 16 млн.руб./мес.

Непосредственно от внедрения разработок по повышению эффективности производства конструкционных пиломатериалов из лиственницы даурской получено дополнительно 4,3% продукции, доходность предприятия была увеличена на 3,6 млн.руб./мес. Достигнутая эффективность окупает проведение необходимых корректировок технологии, следовательно, разработанные в данной диссертационной работе положения рекомендуются для внедрения на других лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании математических расчетов и результатов экспериментальных исследований были сформулированы следующие выводы:

- начальные напряжения, образующиеся в стволах деревьев в процессе их роста, при критическом ветровом напоре достигают предельных значений. В пиломатериалах эти напряжения по величине меньше предельных.

- характер распределения начальных напряжений в стволе дерева зависит от размеров ядровой и заболонной зон. У лиственницы даурской при радиусе ядровой зоны $(0,8-0,9) R$ начальные напряжения распределены по закону параболоида 14-ой степени.

- в соответствии с основными принципами бионики между пределами прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон существуют определенное соотношение, которое при отношении радиуса ядровой зоны к радиусу сечения ствола дерева равном 0,862 составляет 2,24.

- разработанная методика определения начальных напряжений позволяет прогнозировать и анализировать продольную покоробленность пиломатериалов, полученных из пиловочника с естественной кривизной, с овальным сечением, с

различным сбегом и разными геометрическими параметрами ядровой и заболонной зон.

- методика определения начальных напряжений служит основой для совершенствования способа силовой сортировки конструкционных пиломатериалов.

- впервые разработанные математические модели изгибающих моментов от действия начальных напряжений служат научной основой технологии конструкционных пиломатериалов.

- разработанные математические модели являются основой для компьютерных технологий раскроя пиловочника на пиломатериалы.

Разработанные методы оценки качества древесного ствола могут быть применены при исследовании древесных пород или при раскряжевке деловой древесины, при раскрое пиловочника на пиломатериалы и формировании сушильных пакетов/штабелей.

В перспективе по разработанным методикам можно будет изучить влияние величины сбега древесного ствола и размеров ядровой и заболонной древесины для лиственницы даурской, произрастающей в других климатических условиях, для других видов лиственниц и их гибридов, а так же других ядровых пород; оценить влияние положения сердцевины и смещения геометрического центра ствола дерева на распределение начальных напряжений, усовершенствовать технику и технологию сортировки конструкционных пиломатериалов по прочности, повысить прочность деревянных строительных конструкций.

При практической реализации результатов исследований рекомендуется:

1) проводить сортировку пиловочника с учетом размеров ядровой и заболонной зон, сбега, овальности сечений и кривизны бревен.

2) рассчитывать карты раскроя с учетом действия начальных напряжений как по толщине, так и по высоте ствола дерева: Для бревен из срединной части ствола следует предусматривать более глубокое положение пропилов для досок центрального бруса, а также смещение более толстых сечений пиломатериалов дальше от сердцевины; соблюдать правило равномерного распределения

начальных напряжений в пределах одного сечения; обеспечивать симметричность раскроя с равным удалением торцов доски от геометрического центра ствола дерева.

3) укладывать верхние ряды в сушильном пакете наружной пластью вниз; укладку верхних рядов пакетов производить на основании прогнозирования естественной деформации пиломатериалов от действия начального напряжения с компенсацией естественного коробления; необходимое количество рядов верхних досок, а также необходимое расстояние между межрядовыми прокладками следует рассчитывать для каждой партии при известных характеристиках сырья и картах раскроя.

Акты о промышленном внедрении результатов исследований приведены в Приложении к диссертации.

Полнота изложения материалов диссертационного исследования в печатных работах

Статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science и SCOPUS

1. Okhlopkova A. Y. Numerical Simulation of Deformations of Softwood Sawn Timber [Текст] / V. N. Glukhikh, P. V. Sivtsev, A. Y. Okhlopkova // In: Lirkov I., Margenov S. (eds) Large-Scale Scientific Computing. LSSC 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10665. Springer, Cham, 2018 - PP 483-490. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73441-5_53

Статьи в ведущих рецензируемых журналах

2. Охлопкова А. Ю. Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской [Текст] / В. Н. Глухих, А. Ю. Охлопкова // ИВУЗ. Лесной журнал, №5(359), 2017. – С. 35-50.

3. Охлопкова А. Ю. Исследование положения кармашков в стволе дерева лиственницы даурской [Текст] / А. Ю. Охлопкова // Системы. Методы. Технологии, №4, 2017. – С. 148-150.

4. Охлопкова А. Ю. Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений [Текст] / В. Н. Глухих, А. Ю. Охлопкова - ИВУЗ. Лесной журнал, №1, 2018. – С.89-99.

В сборниках докладов на конференциях

5. Охлопкова А. Ю. Древесиноведческие аспекты исследования основных лесообразующих пород Якутии [Текст] / Д. К. Чахов, И. А. Докторов, М. Ф. Лавров, А. Ю. Охлопкова // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: Безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: 2-я Всероссийская научно-практическая конференция. г. Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова, 2011. – С. 197-200;

6. Охлопкова А. Ю. К вопросу оптимизации объемно-ценностного выхода пиломатериалов из древесины лиственницы даурской [Текст] / И. А. Докторов, А. Ю. Охлопкова // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: Безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: 2-я Всероссийская научно-практическая конференция. г. Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова, 2011. – С. 141-145;

7. Охлопкова А. Ю. Задачи математического моделирования при разработке трехмерной модели пороков строения древесины [Текст] / А. Ю. Охлопкова // Информационные технологии в науке, образовании и экономике: 4-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. г. Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова, 2012. – С. 87-89;

8. Охлопкова А. Ю. Определение толщины заболони лиственницы даурской по высоте ствола [Текст] / А. Ю. Охлопкова - Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: Международная научно-техническая конференция. г. Кострома: КГТУ, 2012 – С. 26-27.

В прочих изданиях

9. Охлопкова А. Ю. Технология лесопиления. Справочник [Текст] / П.П. Черных, А.Ю. Охлопкова, П.Г. Черных - СПб: Политехника, 2015. – 191 с.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 212.220.03 или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова.

ОХЛОПКОВА АННА ЮРЬЕВНА
АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать с оригинал-макета 05.04.18 г. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Гарнитура «Times New Roman». Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ № 111

Отдел оперативной полиграфии издательства
Тихоокеанского государственного университета
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136