

На правах рукописи

АГАФОНОВА Рузалия Ильсуровна

**ФОРМИРОВАНИЕ КЛЕЕННЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ
МИКРОСТРОЕНИЯ И НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

05.21.05 – Дровесиноведение, технология и оборудование деревообработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт – Петербург 2009

Диссертационная работа выполнена на кафедре древесиноведения и специальной обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета

Научный руководитель:

Кандидат технических наук, доцент Левинский Юрий Борисович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Черных Александр Григорьевич

Кандидат технических наук, доцент Глухих Владимир Николаевич

Ведущая организация: ОАО «УралНИИПДрев»

Защита диссертации состоится «3» марта 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.220.03 при Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С.М. Кирова (194021, Санкт – Петербург, Институтский пер. 5, главное здание, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в СПбГЛТА

Автореферат разослан «___» _____ 200_ г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
доктор технических наук, профессор _____ Г.М. Анисимов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные темпы развития строительной индустрии в России обусловили высокую потребность в надежных и высокоэффективных деревянных конструкциях и материалах. В связи с этим, особое внимание должно быть обращено на качество и долговечность несущих деревянных балок, оценку технических возможностей древесины как конструкционного материала, а также на эффективность потребления сырьевых ресурсов в производстве.

Одним из направлений повышения эффективности комплектования деревянных клееных конструкций является формирование сечения балки с учетом микростроения и напряженного состояния древесины.

Получение клеёных деревянных конструкций, сбалансированных по напряженно-деформированному состоянию древесины, а также применение способов разделения заготовок по качеству и с учетом физико - механических показателей будущей конструкции, представляет весьма актуальную теоретическую и практическую задачу, решение которой способствовало бы повышению рациональности использования лесосырьевой базы страны.

Цель работы – создание многослойного клееного пакета из древесины с учетом микроструктуры и напряженно - деформативного состояния древесины.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Теоретически и экспериментально исследовать влияние анатомического строения древесины на прочностные характеристики многослойного клееного блока;
- 2) Разработать и исследовать модель структуры древесины, на основе которой можно прогнозировать изменения напряжений в нагруженной конструкции и управлять процессами формирования рациональных по сечению клееных балок;
- 3) Разработать способ комплектации клееного блока с целью уменьшения внутренних напряжений в клеёной конструкции и, как следствие, сокращения размеров ее сечения и обеспечения рационального использования древесины;
- 4) Определить экономическую эффективность комплектации клееного блока по высоте с учетом направленности волокон, породы древесины и состава конструкций.

Объектами исследования являются клеёные балки прямоугольного сечения, способы их комплектации; заготовки, применяемые для производства клееных конструкций и требования предъявляемые к ним.

Предметами исследования являются микростроение древесины и зависимость её механических свойств от направления волокон; структура

неоднослойных балок прямоугольного сечения и математическое моделирование их напряженного состояния по векторной конфигурации элементов составного блока.

Научная новизна работы.

Научная новизна заключается в применении усовершенствованной и адаптированной к древесине схемы расчетной стержневой системы для определения параметров расчетно-аналитической модели клееных деревянных конструкций.

Предложен способ теоретического расчета напряжений в анизотропном материале, основанный на векторном представлении напряженного состояния составной конструкции.

Разработаны схемы комплектации клеёного блока по высоте сечения балки на основе совокупной оценки напряженного состояния склеиваемых заготовок.

Разработаны и теоретически обоснованы рациональные схемы распиловки круглых лесоматериалов на заготовки клееных балок, в соответствии с принципами минимизации напряжений в клееных конструкциях.

Научные гипотезы, выносимые на защиту.

1. Прочностные показатели и технические возможности древесины в значительной степени обусловлены её анатомическим строением;

2. Модель напряженно-деформированного состояния древесины в различных комбинациях составных балок позволяет прогнозировать и количественно определять рациональный состав элементов клееных конструкций, составленных из древесины с различным направлением волокон в каждом слое.

Значимость для теории и практики:

Для теории имеет значение:

- пространственная модель напряженного состояния древесины;
- номограмма для определения рационального комплектования смежных слоев клееной конструкции;
- расчетный метод подбора заготовок, из которых формируется клееная балка, максимально сбалансированная по величине и характеру напряжений и деформаций в конструкции;
- схемы раскроя пиловочника, в соответствии с зональным распределением качественных зон древесины в стволе дерева и местоположением, получаемых заготовок в конструкции.

Для практики имеют значение:

- рекомендации по подбору заготовок, из которых формируется клееная балка, максимально сбалансированная по величине и характеру напряжений и деформаций в конструкции;
- рекомендации по раскрою пиловочника на заготовки для клееных балок, позволяющие достичь оптимального комплектования пакетов в зависимости от направленности волокон древесины, прочностных и качественных характеристик древесного материала.

Достоверность сформулированных в диссертации научных положений подтверждается адекватностью математических моделей, согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований с погрешностью, не превышающей 5%, а также соответствием выявленных зависимостей по показателям структурного состояния древесины классическим определениям в области древесиноведения.

Апробация работы. Основные результаты и теоретические положения диссертационной работы были доложены на следующих конференциях и симпозиумах, конкурсах: научно-техническая конференция студентов и аспирантов УГЛТУ – 2003, 2004, 2004,2005,2006; I и II-й международный евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент 21 века»(Екатеринбург – 2006,2007); X конкурс научно-исследовательских работ творческой молодежи вузов Свердловской области «ЗОЛОТОЙ ОЛИМП» за 2005 год по направлению «Технические науки» (III –премия); конкурс научных работ студентов и аспирантов высших учебных заведений Свердловской области «Зелёная сова» (Екатеринбург – 2005).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе в 4-х изданиях, рекомендуемых ВАК России.

Реализация работы. Основные научно – теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях ООО «Гриф» (п. Кормовище, Пермский край), ООО СК «Лесные традиции» (г. Екатеринбург) в качестве технико-технологических рекомендаций и методических указаний по подбору состава и назначению параметров клееных балок, а также прогнозирования прочностных показателей и испытаний выпускаемых конструкций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, выводов и рекомендаций, приложений, библиографического списка, включающего 126 наименований. Общий объем работы 162 страниц, 62 рисунка, 12 таблиц, 29 страницы приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована ее цель, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Содержатся данные о месте проведения и апробации работы, внедрения результатов в промышленность, структуре и объеме диссертации.

В первом разделе «Состояние вопроса и задачи исследований» проведен обзор и анализ работ, посвященных проблемам совершенствования конструкций из клееной древесины и повышения рациональности использования древесного сырья при их производстве.

В разное время проблемами определения прочности, долговечности и устойчивости деревянных конструкций, оценки технических

возможностей древесины при их производстве, а также задачами повышения эффективности использования сырьевых ресурсов занимались такие известные у нас в стране и за рубежом исследователи, как Уголев Б.Н., Волынский В.Н., Ковальчук Л.М., Савков Е.И., Леонтьев Н.Л., Ашкенази Е.К., Глухих В.Н., Левинский Ю.Б., Карлсен Г.Г., Фрейдин А.С., Черных А.Г., Вуба К.Т., Пластинин С.Н., Калугин А.В. и многие другие. Анализ научно-технической информации по исследуемому вопросу и имеющихся на данный момент времени промышленных достижений в области производства конструкционных изделий из древесины позволил сделать следующие выводы:

1. Существует проблема теоретического описания изменения прочности древесины в зависимости от угла наклона ее волокон и определения на этой основе сбалансированных малонапряженных многослойных блоков для склеивания;

2. Комплектование пакета заготовок для склеивания балок из древесины разных пород - эффективный метод повышения рациональности использования сырья, если обеспечивается оптимальное сочетание заготовок, входящих в конструкцию по структурному и физико-механическому их сочетанию;

3. В настоящее время деревообрабатывающая промышленность недостаточно обеспечена научно обоснованными методами и техническими средствами, позволяющими оценить прочностные и реологические свойства древесины, использование которых позволило бы оптимизировать состав слоистых клееных балок и получение заготовок для их изготовления;

4. Анализ исследований многих ученых показывает, что размещение древесины по высоте сечения в соответствии с ее прочностными, упругими характеристиками и напряженно-деформированным состоянием изгибаемых элементов дает значительный эффект повышения прочности несущих конструкций;

5. Напряжения, возникающие в клеевой прослойке, в значительной степени зависят не только от физико-механических показателей клея, но также и от упругих характеристик древесины, динамики их изменения в процессе эксплуатации изделий.

Во втором разделе «Теоретическое обоснование напряжено – деформированного состояния древесины» приведены результаты теоретических изысканий по формированию рационального состава клееных балок на основе модели напряженно-деформированного состояния древесины.

Анизотропия механических свойств древесины проявляется в разнообразии её показателей и конструкционных возможностей по различным направлениям. Макроскопическое строение древесины определяет ортогональную схему анизотропии этого материала, взятого в малых объёмах. Древесину, как саму по себе, так и в составе клееных блочных конструкций, можно представлять в виде многослойной

структуры, состоящей из различных элементов – моделей второго уровня. Вторым уровнем данной системы справедливо было бы считать модель годичного слоя как двухслойной криволинейной пластины, состоящей из компонентов первого приближения с учетом, различия ранней и поздней древесины. Расчетная схема предполагает, что размеры структурных групп могут быть различны. Модель первого приближения – схема расчетной стержневой системы клетки древесины представлена на рис 1.

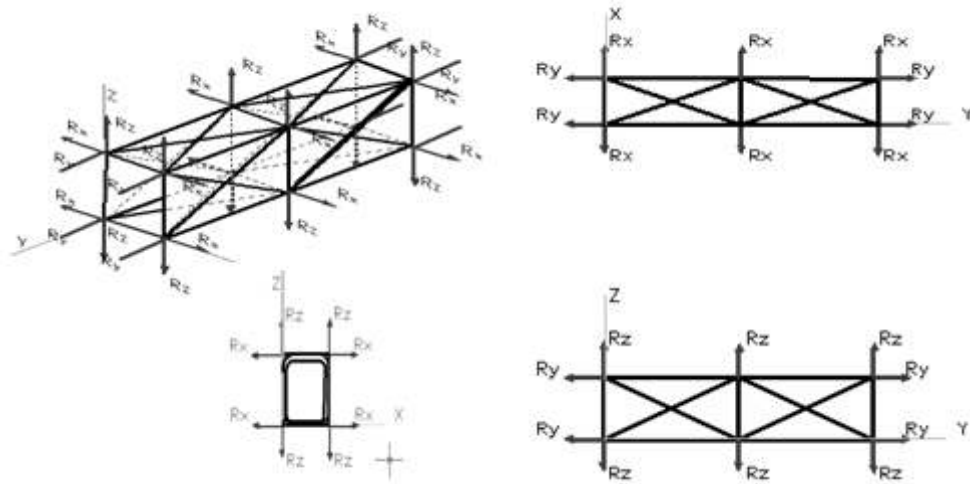


Рис.1. Схема расчетной стержневой системы для анизотропного тела

Данная расчетная схема определяет свойства древесины как совокупность свойств её единичных структурных элементов, каковыми можно считать трахеиды. Для идеальной модели фрагмента древесины, на которой годовые слои (кольца) представлены в виде равномерно распределенных концентрических окружностей, напряжение в точке, имеющей координаты (x, y) , выражается результирующим вектором R . Модель первого приближения показывает, что основные напряжения направлены согласно сторонам бокса единичного элемента. Следовательно, для модели второго уровня они направлены по касательной (t) и к центру окружности, образованной годичным слоем (n). Численное значение указанных характеристик получить сложно, вследствие чего оценка будет носить сравнительный характер.

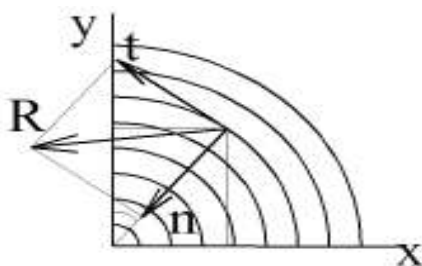


Рис.2. Векторное представление нормального и тангенциального напряжения

Основные прочностные показатели, согласно рекомендациям Слицкоухова Ю.В., определяются как реакции стержней, формирующих модель. Предельное сопротивление суммарного слоя (Z) с поперечной ориентацией микрофибрилл, определяется по формуле (1):

$$Z = N_{90} / (1 + 2\cos^3(90 - \gamma) F_{сп} / F_h), \quad (1)$$

где Z - предельное сопротивление суммарного слоя с поперечной ориентацией микрофибрилл;

N_{90} - предельное сопротивление разрыву поперек волокон;

λ - угол между приложенной нагрузкой и направлением волокон;

γ - средний угол спиральных слоев для сосны $\gamma_{ран} = 30^\circ$,
 $\gamma_{позд} = 17,3^\circ$;

$F_{сп}, F_h$ - площади поперечного сечения соответственно, и спиральных поперечных слоев.

Предельное сопротивление разрыву под углом $\lambda \geq \gamma$, под углом $\lambda < \gamma$ и предельное состояние при чистом сдвиге вдоль волокон определяются соответственно по формулам 2-4:

$$\text{Для углов } \lambda \geq \gamma: \sigma_{\delta, \lambda}^{i\delta\delta\ddot{a}} = \left[\frac{1 + 0,25 \frac{\cos(\lambda - \gamma)}{\sin \lambda}}{(\sin \lambda + tg \gamma \cos \lambda) 1,25} \right] \sigma_{\delta, 90}^{i\delta\delta\ddot{a}}, \quad (2)$$

$$\text{Для угла } \lambda < \gamma: \sigma_{\delta, \lambda}^{i\delta\delta\ddot{a}} = \left[\frac{\sin \lambda + 0,25 \cos(\gamma - \lambda)}{0,25 \tilde{n} \alpha (\gamma - \lambda) (\sin \lambda + tg \gamma \cos \lambda)} \right] \frac{F_{\tilde{n}i}}{1,25} \sigma_{\delta, 90}^{i\delta\delta\ddot{a}} \quad (3)$$

Предельное напряжение при чистом сдвиге вдоль волокон определяется по формуле:

$$\sigma_{сдв}^{пред} = 2 F_{сп} \sigma_{p90}^{пред} / \cos \gamma * 1,125, \quad (4)$$

Формулы показывают, что сопротивление нагрузке, возникающее в единице модели, не зависит от вида клетки - ранняя или поздняя, влияние имеют геометрические характеристики модели. Кроме того, анализ реальных размеров клетки древесины сосны рис. 3 и формулы 4 позволяет определить отношение нормальной составляющей к тангенциальной.

Для ранней древесины оно равно:

$$\frac{n}{t} \approx \frac{\sigma_{90}}{\sigma_{сдв}^{пред}} \approx 1,2 \quad (5)$$

Аналогично найдено отношение, для поздней древесины $\frac{n}{t} = 1,6$. (6)

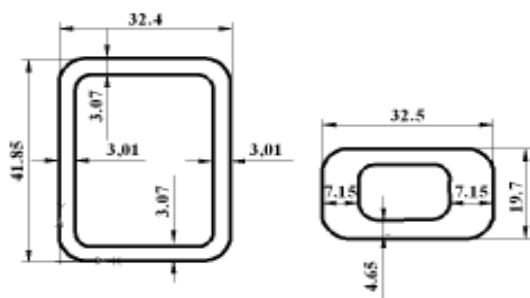


Рис.3. Схемы конфигурации поперечного сечения ранних и поздних трахеид сосны (размеры в мкм)

Исследования показывают, что радиальная древесина, несмотря на наивысшее значение модуля упругости, имеет предел прочности ниже, чем

древесина с углом наклона волокон в 30° . Следовательно, модуль упругости не может быть принят в качестве единственной и основной характеристики прочности древесного материала. В дополнение к нему может выступить результирующий вектор нормальных и тангенциальных напряжений, показанный на рис. 2 вектором R.

Сумма проекций нормальных и тангенциальных напряжений на главные оси дает значение результирующей.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad (8)$$

$$R_x = t \cos \alpha + n \sin \alpha \quad (9)$$

$$R_y = n \cos \alpha + t \sin \alpha \quad (10)$$

Отсюда следует, что уменьшение вектора ведет к сокращению величины внутренних напряжений в древесине. На рис. 4. представлены зависимости модуля упругости от угла наклона волокон древесины, построенная по данным, полученным В.Н. Глухих, и величины обратной результирующей нормальных и тангенциальных напряжений. Характеризуя прочностные возможности древесины по двум показателям, а именно, по величинам модуля упругости и вектора результирующей, сделан вывод о том, что древесина имеет максимальную контрольную прочность при наименьшей графической разности модуля упругости и величины обратной результирующей.

Выявленная при исследованиях зависимость сопоставима с зависимостью, полученной профессором Уголевым Б.Н. Поэтому, можно сделать вывод, что характер изменения влажностных, остаточных напряжений и результирующей одинаков.

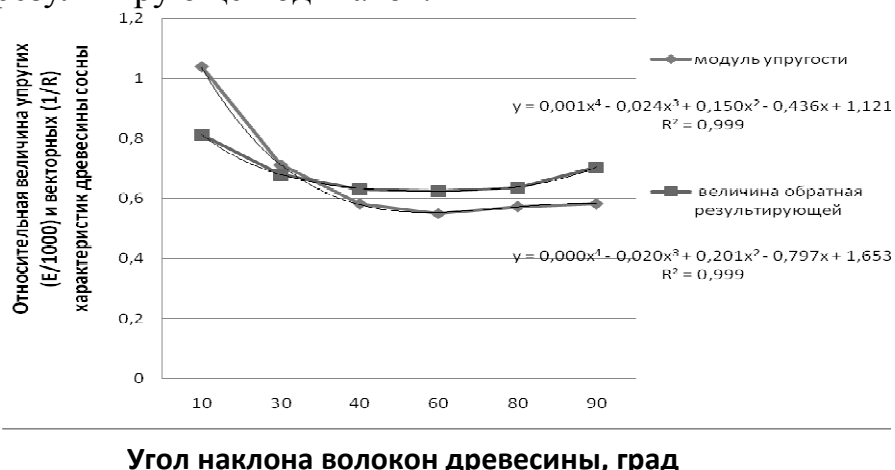


Рис. 4. Зависимости модуля упругости и результирующей от угла наклона волокон древесины

Если рассмотреть напряжения, возникающие в клееной балке, по нейтральной и растяжения), то векторная картина иллюстрирует неоднородное распределение напряжений (рис.5).

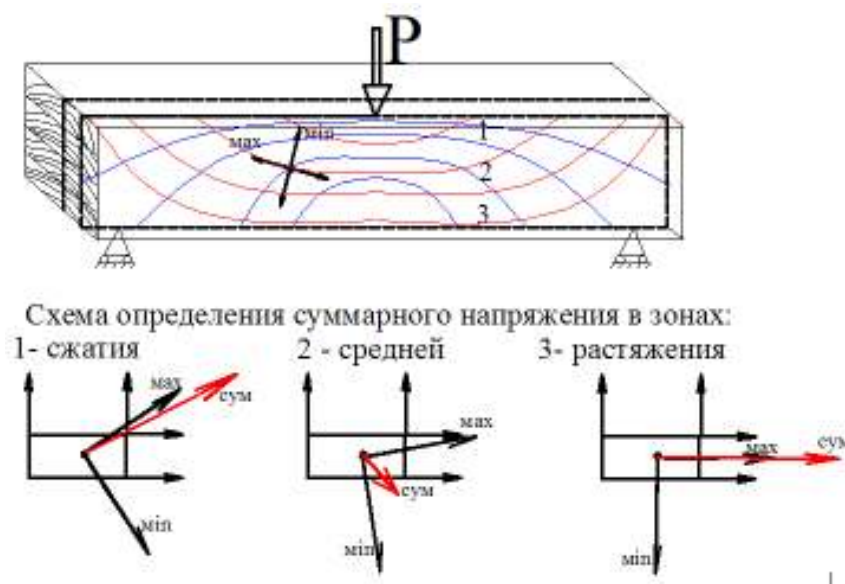


Рис. 5. Векторное представление напряжений в клеёной конструкции

При данной комплектации клееной балки угол наклона волокон во всех зонах стремится к 90° , т.е. суммарный вектор внутренних напряжений в зависимости от зоны мало отличается. Векторы напряжений, обусловленные внешней нагрузкой, при этом, согласно траектории напряжений, значительно изменяется. Из схемы следует, что общий суммарный вектор достигает значительных величин в зоне – растяжения и сжатия. При этом в зоне сжатия суммарный вектор образует существенные напряжения сдвига, что является наиболее опасным. Для уменьшения данного эффекта необходимо изменить направленность волокон древесины в этих слоях. Например, использовать в крайних зонах радиальные или полурадикальные заготовки.

Одним из решений усовершенствования конструкций балок и более полному использованию древесного сырья служит расположение годичных слоев вертикально. Это вполне согласуется с разработанной теорией напряженно-деформированного состояния древесины в композитных балках. Опасные напряжения, возникающие в краевой зоне контактирующих склеенных ламелей, могут быть снижены в масштабах всей конструкции за счет соответствующей ориентации слоев в блоке (рис.6).

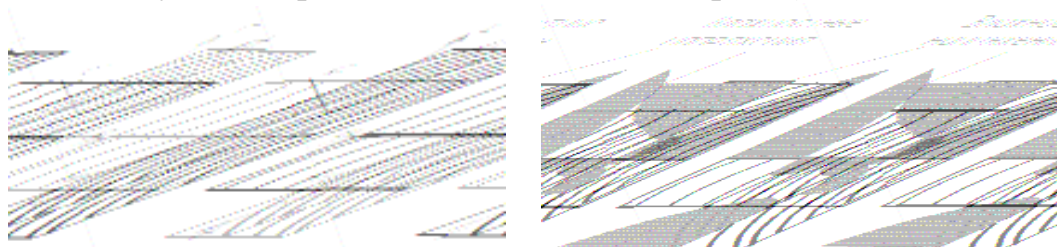


Рис.6. Направленность напряжений возникающих в балках

Для сравнительной оценки внутренних напряжений в клееной конструкции, а значит и напряжения, возникающего при работе данного соединения, была разработана номограмма (рис.7). За единицу принято

значение суммы результирующей при изготовлении клееной конструкции из тангенциальных заготовок (угол наклона 90^0). При прогнозировании прочности детали, склеенной из заготовок разной толщины, необходимо применять итерационный метод.

Использование зависимости распределения угла наклона волокон (t) древесины по высоте сечения балки ($Y(t)$) от нагрузки и номограмма для определения рационального комплектования смежных слоев клееной конструкции позволяет формировать конструкцию при известных условиях её эксплуатации. Кроме того, при решении задачи были учтены особенности строения древесины, что в свою очередь вводит определенные корректировки.

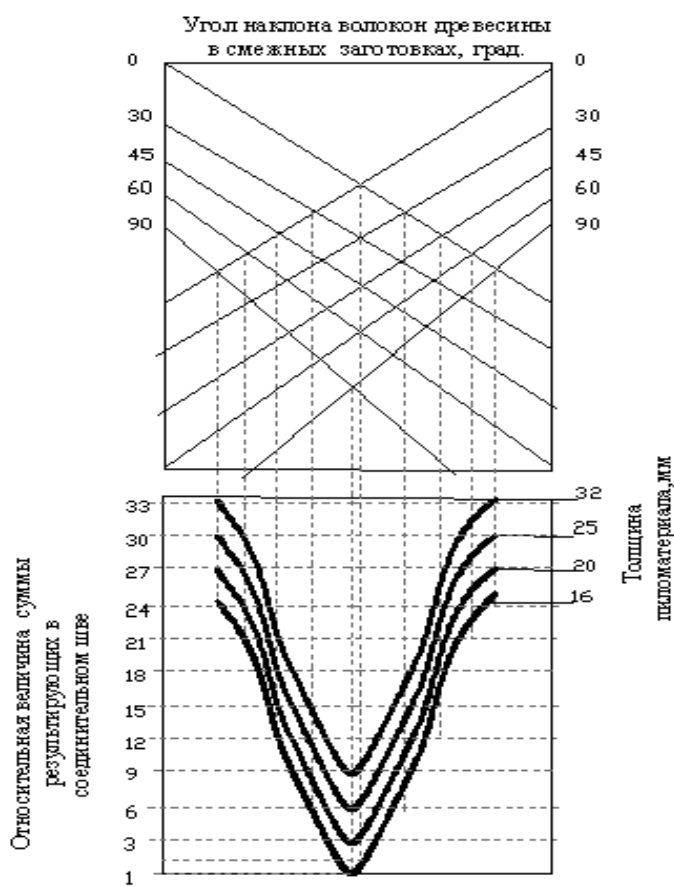


Рис. 7. Номограмма для определения рационального комплектования смежных слоев клееной конструкции

Для достижения поставленной цели была разработана программа в среде MathCAD, позволяющая рассчитать требуемый угол наклона волокон древесины в заготовке, имеющей определенные координаты. Входными данными для расчета служат: условия эксплуатации (нагрузки, температурно-влажностный режим, расчетный пролет), породный состав.

Основой программы является зависимость распределения угла наклона волокон по высоте сечения:

$$Y(t) := \text{if}(t > 30, p(t), k(t)) \quad (11)$$

$\varphi_{\text{max}} := 1$

$$p(t) := \left[\frac{\sin[(t) \cdot \pi] + 0.25 \cdot \cos[(30 - t) \cdot \pi]}{0.25 \cdot \cos[(30 - t) \cdot \pi] \cdot [\sin[(t) \cdot \pi] + [\tan[(t) \cdot \pi] \cdot \cos[(t) \cdot \pi]]]} \right] \cdot \left(\frac{8.02 \cdot 10^6}{1.25} \right) \cdot \left[\left(\frac{M_{\text{max}}}{J_z} \right)^{-1} \right]$$

$$k(t) := \left[1 \cdot \left[\frac{[1 + 0.25 \cdot \cos[(t - 30) \cdot \pi]]}{[\sin[(t) \cdot \pi] + \tan[(30) \cdot \pi] \cdot \cos[(t) \cdot \pi]] \cdot 1.25} \right] \right] \cdot 8.02 \cdot 10^6 \cdot \left[\left(\frac{M_{\text{max}}}{J_z} \right)^{-1} \right],$$

где J_z - момент инерции сечения балки в расчетном сечении.

В случае комплектования сечения балки из древесины разных пород, момент инерции определяется по формуле:

$$J_{z_i} := \frac{b_i \cdot [(h_2)^3 - [n \cdot (h_1 - h_2)]^3]}{12} \quad (12)$$

где b_i - ширина сечения,

h_2, h_1 - высоты зон средней и крайних слоев конструкции, соответственно;

n - отношение модулей упругости древесины крайних и средних слоев.

Программа выдает графическое решение – распределение угла наклона волокон древесины в зависимости от высоты сечения балки.

В качестве примера расчета сечения балки рассмотрен случай нагружения конструкции, представленный на рис. 8.

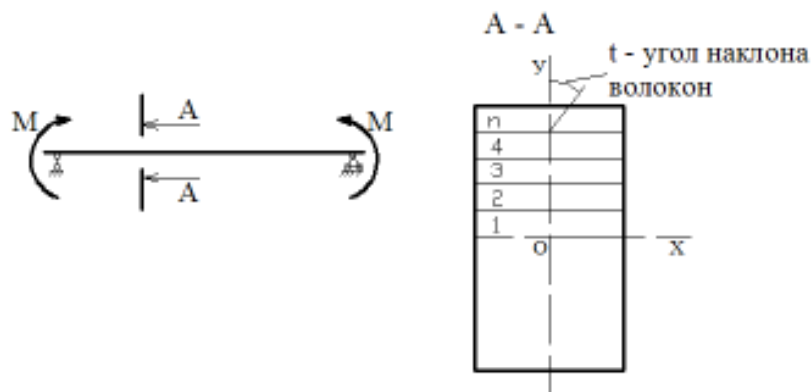


Рис.8. Схема нагружения балки и отсчета слоев конструкции

Графическая иллюстрация решения задачи представлена на рис 9.

Зависимость показывает предпочтительное распределение угла наклона волокон древесины в слоях конструкции, подлежащей эксплуатации в заданных условиях.

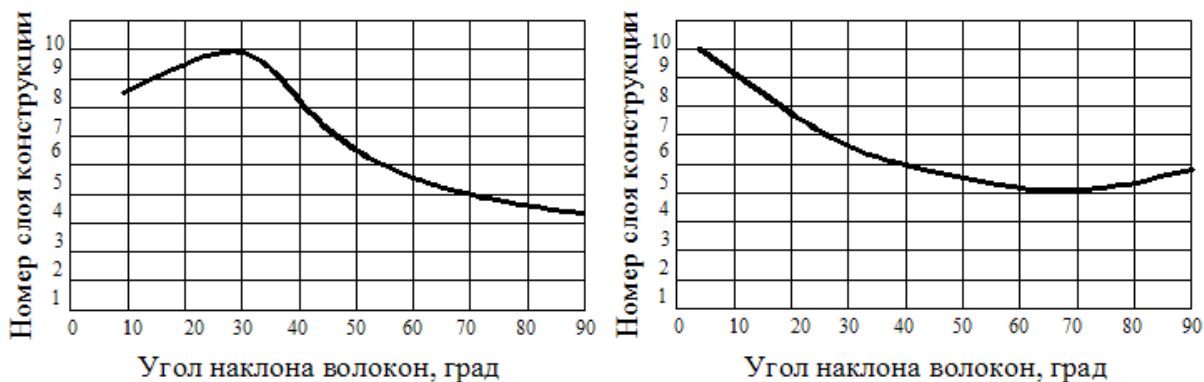


Рис.9. Распределение угла наклона волокон, град (t) древесины по высоте сечения балки ($Y(t)$) при нагружении парой моментов: 1- нагрузка составляет 0,95 разрушающей; 2- нагрузка 0,5 разрушающей.

Полученная методика позволяет координировать комплектацию клееной конструкции с учетом строения древесины, воздействующих нагрузок и других внешних факторов.

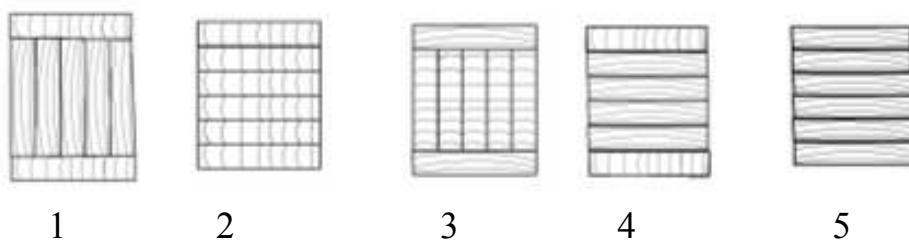


Рис. 10. Вид поперечного сечения клееного пакета

На основании выше изложенных рекомендаций, разработаны рациональные схемы формирования сечения балок по составу и положению в них заготовок (ламелей), которые представлены на рис. 10. Градация прогнозируемой величины прочности ведется справа налево.

При этом особое влияние на прочность клееных балок оказывают размеры пороков древесины и их расположение в поперечном сечении конструкции. В связи с этим целесообразно обеспечить тщательный подбор заготовок в зависимости от качества и принятой к производству конструкции изделия. Известно, что качественные и прочностные характеристики древесины зависят от места, которое она занимает в стволе дерева. С учетом этого факта была разработана схема комплектования клееной конструкции заготовками в зависимости от их местоположения. При этом получаемые заготовки для клееных конструкций соответствуют выше изложенным рекомендациям по качеству, направленности волокон и размерным характеристикам.

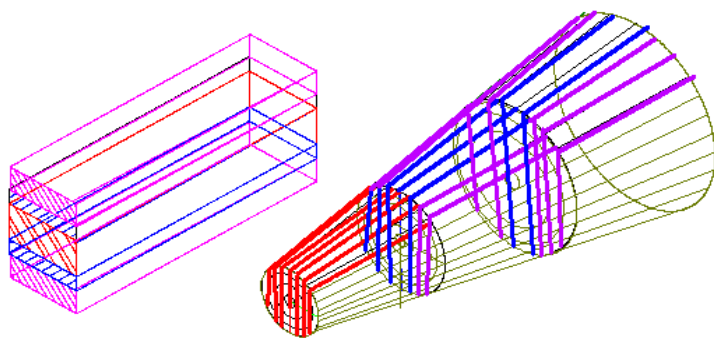


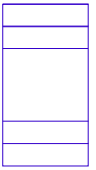
Рис.11.Схема комплектования клееной конструкции заготовками в зависимости от их местоположения

Расчетно-аналитическим методом были определены показатели потребления древесины для изготовления балок двух типов (табл.1).

Из таблицы видно, что при раскросе сортимента на заготовки для клееных балок с прямоугольной формой сечения резко снижается объемный выход продукции по сравнению с оптимальным раскросом. Однако, если обеспечивать оптимальный уровень комплектования заготовок по зонам напряженного состояния, то этот показатель можно повысить, а сами клееные конструкции сделать с меньшими размерами сечения при тех же параметрах прочности.

Таблица 1

Показатели объемного выхода заготовок для клееных балок

Сечение бруса	D, см.	Выпиливаемое сечение	Необходимый объем (м ³) на 1000шт.	Выход заготовок из сортимента
	22	40x110	52,8	55,08
		40x120	86,4	
	24	40x110	52,8	51,29
		40x120	86,4	
	22	32x110	84,48	45,21
		90x110	9,9	
	24	32x110	84,48	48,64
		90x110	9,9	

Третья глава посвящена методике проведения и обработке результатов эксперимента. В данном разделе описан ход выполнения прочностного анализа с помощью возможностей программного обеспечения среды “Т – FLEX”. В разделе дается описание методики отбора заготовок и их подготовки, рекомендации по подбору и комплектованию в блоки для склеивания, используемого оборудования и методики проведения экспериментов. Кроме того, данная глава содержит методику математической обработки результатов экспериментов и оценку достоверности получаемых экспериментальных данных.

В четвертом разделе «Экспериментальные исследования» изложены результаты исследований, посвященных изучению возможностей повышения эффективности комплектования и изготовления клеёных балок на основе древесины разных пород.

На первом этапе исследований подтверждены возможности использования выдвигаемой модели для прогнозирования прочностных показателей древесины.

Поисковые исследования обеспечили обоснованность выбора постоянных и переменных факторов для проведения основного эксперимента.

Вторым этапом экспериментальных исследований стало определение влияния совместного действия внешней нагрузки и результирующей векторов напряжений в древесине на долговременную прочность клееной конструкции. Влияние результирующей нормального и тангенциального напряжения изучалось при помощи варьирования следующих показателей: угла встречи наклона волокон смежных слоев, согласованности условных направлений волокон в слоях и породного состава балки (процентное содержание осины и сосны) на прочность конструкции при изгибе. Для прогнозирования длительной прочности клееного соединения был применен упрощенный метод ускоренного старения конструкции. Результаты исследований приведены на рис. 16-19.

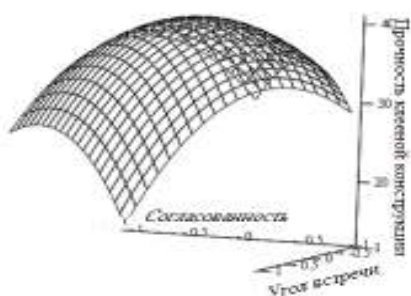


Рис.16. График зависимости прочности клееной конструкции при изгибе при сочетании пород сосны и осины – 50- 50% от направления годовичных слоев смежных ламелей. В кодированном виде:

$$\hat{Y}_1 = 39,07 - 5,3x_1 - 9,2x_1^2 - 5,32x_2^2 + 2,8x_1x_2.$$

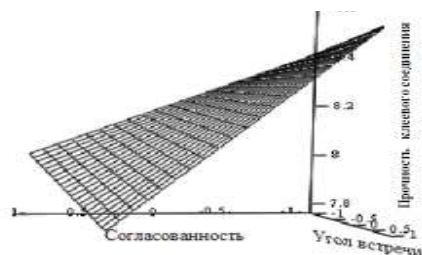


Рис.17. График зависимости прочности клееного соединения после выдержки при сочетании пород сосны и осины – 50- 50% от направления годовичных слоев смежных ламелей. В кодированном виде: $Y_2 = 8.214 - 0.31x_1 - 0.113x_1x_2$

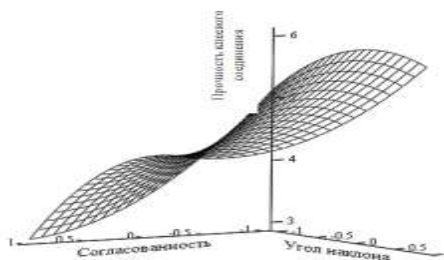


Рис. 18. График зависимости прочности клееного соединения после вымачивания при сочетании пород сосны и осины – 50- 50% от направления годовичных слоев смежных ламелей. В кодированном виде:

$$\hat{Y}_3 = 4,66 - 0,85x_1 + 0,62x_2 + 0,45x_1^2 - 0,46x_2^2 - 0,23x_1x_2$$

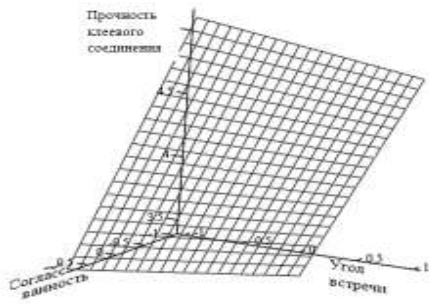


Рис.19. График зависимости прочности клееного соединения после кипячения при сочетании пород сосны и осины – 50- 50% от направления годовичных слоев смежных ламелей. В кодированном виде:

$$\hat{Y}_4 = 4,279 - 0,73x_1 + 0,11x_1x_2 .$$

На всех графиках (рис. 16- 19) прослеживается наличие четко выраженного максимума поверхностей отклика. Полученные зависимости доказывают, что благодаря свойствам, обусловленным строением клеток, может изменяться упругость и прочность балок. Например, заготовки из древесины осины, которая более пластична, придают балке большую эластичность. Но их влияние на качество клевого соединения носит неоднозначный характер. Исследования показывают, что оптимальное наличие осиновых заготовок в клееной конструкции колеблется в районе 50%. При разнице угла наклона волокон древесины в смежных слоях, составляющей менее 12° , можно получить оптимальное клеевое соединение, но при условии, что слои должны быть согласованными.

Прочность клеевых соединений в конструкциях, полученных из древесины разных пород, не уступает прочности клеевых соединений сосновых заготовок.

На прочность соединения значительное влияние оказывает взаимное расположение годовичных слоев. При уменьшении разницы величин углов наклона годовичных слоев в склеиваемых заготовках прочностные показатели возрастают. Полученные данные позволяют сформировать рекомендации по комплектованию слоистых клееных конструкций с учетом влияния напряжений. Выводы теоретического исследования и результаты эксперимента позволили провести третий этап экспериментальных исследований. Для его реализации были изготовлены образцы клееной конструкции из сосны, осины и комбинированные из сосны и осины (рис. 10).

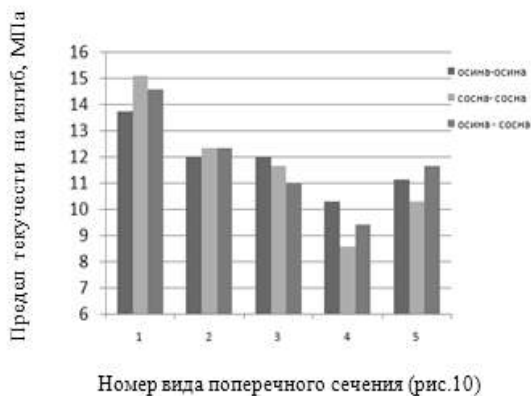


Рис. 20. Зависимость предела текучести от вида поперечного сечения

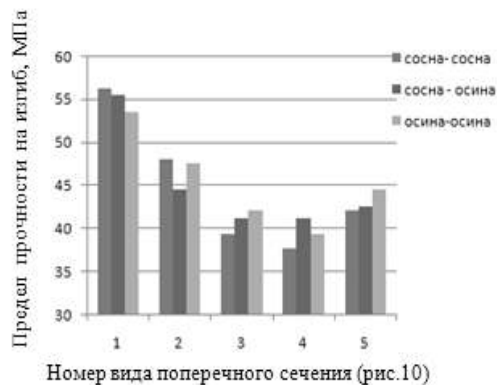


Рис. 21. Зависимость предела прочности от вида сечения

Прочностной анализ в среде “T- Flex” позволил доказать, что значение предела текучести, находится в аналогичной зависимости, что и распределение предела прочности. Причиной этого сходства служит потеря устойчивости элементарной системы и характер ее разрушения.

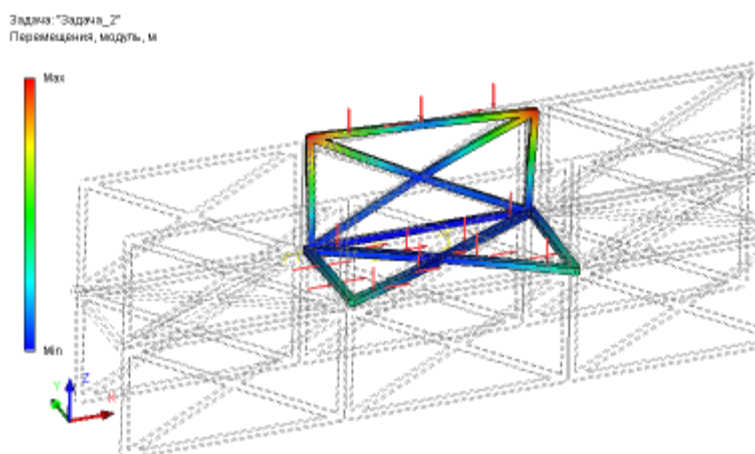


Рис.22. Изображение напряженного состояния модели древесины

Использование разработанной расчетной схемы комплектации балок по высоте сечения позволяет добиться максимальной сбалансированности напряжений, возникающих от внешней нагрузки, и проявления суммарных внутренних напряжений.

Проведенные испытания подтвердили вывод о том, что процесс деформирования клееной балки из древесины разных пород и связанные с ним структурные преобразования в конструкции происходят по той же схеме, что и в балках, изготовленных из одной породы древесины. При этом балка, выполненная из сосновых заготовок, склеенных горизонтально, имеет напряжения сдвига выше, чем балка, выполненная по рекомендуемой схеме из древесины разных пород.

В пятом разделе «Технико-экономическое обоснование» доказана экономическая эффективность внедряемого варианта изготовления клеёных конструкции с применением схем раскроя пиловочника и комплектации балок по высоте сечения. На основании оптимизационных решений по подбору заготовок и комплектования рационального по напряженно-деформированному состоянию сечения балок материалоемкость конструкций уменьшается на 15-22%. С учетом возможностей специализированного раскроя круглых лесоматериалов по оптимальному плану комплектации конструкций выход заготовок обеспечивается на уровне 55-60%. Годовой экономический эффект внедряемого варианта изготовления клееных деревянных балок превысил аналогичное значение базового варианта более, чем в 1,2 раза.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Прочностные характеристики и, следовательно, конструкционные возможности древесины существенно зависят от её микростроения.

2. Механические показатели древесины, которые служат основой для расчета несущих конструкций, необходимо связывать с анатомическими особенностями древесины, учитывая при этом структуру материала по внешним, визуально определяемым признакам.
3. Методы теоретического расчета напряжений в анизотропном материале, каковым является древесина, позволяют получить вполне достоверные значения напряжений, в том числе, и для комбинированных или сборно-клееных несущих конструкций.
4. Модуль упругости древесины резко снижается, при увеличении угла между силой и направлением волокон, причем, наиболее значительное его уменьшение происходит в диапазоне $\lambda=0... 30^{\circ}$.
5. При проектировании конструкций необходимо учитывать полученные в исследовании данные, поскольку они позволяют наиболее рационально комплектовать конструкцию по составу заготовок, структуре древесины и конструкции изделий.
6. Применение предложенных схем раскроя пиловочника позволит увеличить объёмный и качественный выход товарной продукции, при этом полученные заготовки для клееных конструкций будут соответствовать необходимым требованиям (качество, направленность волокон, прочностные показатели).
7. Предложенная схема комплектации конструкции по высоте блока позволяет достичь хороших и стабильных результатов, независимо от породного состава, а значит, может быть рекомендованной для внедрения.
8. Зависимость угла наклона волокон по высоте сечения от действующих нагрузок позволит координировать не только комплектацию КДК, но и планировать раскрой сырья на пиломатериалы и заготовки с учетом заданного типа и размеров клееных изделий.

Материалы по теме диссертации изложены в следующих работах:

1. Левинская Г.Н. Исследование влияния изменения длины пиловочного сырья на выход пиломатериалов [Текст]/ Г.Н. Левинская, Р.И Ибрагимова (Агафонова) //Материалы на конференцию студентов и аспирантов УГЛТУ.- 2003, с.64.
2. Левинская Г.Н. Зависимости влияния размерных факторов круглых лесоматериалов на выход пилопродукции [Текст]/ Г.Н. Левинская, Р.И Агафонова// Материалы на конференцию студентов и аспирантов УГЛТУ.- 2004, с.43-44.
3. Левинский Ю.Б. Повышение эффективности использования древесины в производстве строительных элементов [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Г.Н. Левинская, С.А. Омигов, Р.И. Агафонова // Лесная промышленность.2005.- №3. с.12-14.
4. Левинский Ю.Б. Рациональная переработка пиловочного сырья на заготовки для производства клееных материалов строительного назначения[Текст] / Ю.Б. Левинский, Г.Н. Левинская, В.В. Савина, Н.В.

- Волегова, Р.И. Агафонова// Материалы на международный евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века».-Екатеринбург, 2006. с.53-56.
5. Левинский Ю.Б. Теоретическое обоснование структуры комбинированных клееных балок [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова// Материалы на международный евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века».-Екатеринбург, 2006. с.57-58.
6. Агафонова Р.И. Расчет оптимального сечения малогабаритной конструкции из древесины разных пород [Текст] / Р.И. Агафонова // Материалы на конференцию студентов и аспирантов УГЛТУ. – Екатеринбург, 2005. с. 88-89.
7. Агафонова Р.И. Рациональный подбор сырья для малогабаритных клееных балок [Текст]/ Р.И. Агафонова // Материалы на конференцию студентов и аспирантов УГЛТУ, посв. 75- летию.- Екатеринбург, 2006. с.45-47.
8. Агафонова Р.И. Повышение конструкционных свойств древесины на основе физико-механических способов её модификации [Текст]/ Р.И. Агафонова, В.В. Савина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Материалы III всероссийской научно- технической конференции студентов и аспирантов.- Екатеринбург, 2007.-с. 152-154.
9. Левинский Ю.Б. Влияние подбора древесины на эксплуатационные показатели комбинированных клееных балок [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова, В.В. Савина // Деревообрабатывающая промышленность.- 2007.№ 4, с.27-28.
10. Левинский Ю.Б. Прогнозирование прочности древесины с учетом геометрии строения древесины [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова // Материалы на международный евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века».- Екатеринбург, 2007. с.68-73.
11. Левинский Ю.Б. Влияние структурно – анатомических свойств древесины на подбор клееных балок [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Г.Н. Левинская, Р.И. Агафонова// Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник.-2008. №3, с.157-160.
12. Левинский Ю.Б. Особенности формирования составных клееных балок на основе структурной модели древесины [Текст]/ Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова // Известия С-Пб ЛТА: Сб. науч. тр. Вып.185.- Санкт – Петербург, 2008, с. 213-224.