

*На правах рукописи*

**Храброва Ольга Юрьевна**

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНИКА  
ПАРАЛЛЕЛЬНО ОБРАЗУЮЩЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

05.21.05 – Дровесиноведение, технология и оборудование  
деревопереработки

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт – Петербург 2016

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: Гороховский Александр Григорьевич  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой автоматизации  
производственных процессов  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
лесотехнический университет»

Каратаев Сергей Григорьевич  
кандидат технических наук, доцент,  
главный специалист по технологии  
деревообработки и деревянному  
домостроению ООО «Фаэтон»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Поволжский государственный  
технологический университет»

Защита диссертации состоится «15» декабря 2016 г. в 13.00 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/science/sovet/D21222003/dis03/>.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Алексей Романович Бирман

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** В настоящее время древесина является одним из популярных материалов, используемых в строительстве. Ее используют в изготовлении ответственных элементов несущих конструкций зданий и сооружений. Поэтому возникает необходимость изготовления высокопрочных конструкционных пиломатериалов с заданными размерами и постоянными в объеме физико-механическими свойствами.

Древесина является природным анизотропным материалом, в котором даже при отсутствии градиента гигроскопической влажности возникают внутренние напряжения. Поэтому вопрос качества сушки должен решаться в комплексе с разработкой схемы раскроя бревна на пиломатериалы.

При составлении схем раскроя бревна на пиломатериалы ответственного назначения не прогнозируется их качество при последующей сушке.

В последнее время все чаще производят распиловку параллельно образующей бревна. Такой способ распиловки, как отмечают в своих работах А.Е. Алексеев, В.Н. Глухих, А.Е. Лахтанов, В.Г. Турушев, В.Г. Уласовец, Е.Г. Царев и др. ученые, позволяет получить более качественные пиломатериалы, которые дороже ценятся. Прогнозируется более высокая их прочность из-за уменьшения перерезания годичных слоев. Многие исследователи в этом вопросе нацелены на получение большего объемного выхода, но пока нет достаточной информации о том, какого качества будут такие пиломатериалы. Поэтому тема диссертационной работы, несомненно, является актуальной.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследованием процесса распиловки пиловочника параллельно образующей занимались не так много российских и зарубежных ученых: А.Е. Алексеев, В.Н. Глухих, А.М. Копейкин, В.Г. Кулиш, А.Г. Лахтанов, П.А. Леонтьев, Е.В. Микрюкова, А.Л. Рогатых, И.И. Сидоров, А.А. Тамби, В.Г. Турушев, В.Г. Уласовец, Е.Г. Царев, А.Н. Чубинский, N.F. Barber, В.А. Meylan, и др.

Анализ научно-технической литературы показал, что этот способ распиловки является наиболее предпочтительным, по сравнению с традиционной распиловкой. Распиловка параллельно образующей позволяет получать больший объемный выход пиломатериалов. Этот способ дает возможность получать больше длинномерных пиломатериалов. При этом до настоящего времени вопрос качества получаемых пиломатериалов при распиловке параллельно образующей после прохождения технологической операции камерной сушки остается неизученным.

**Цель работы** – повышение качества пиломатериалов путем распиловки бревен параллельно образующей.

### **Задачи исследования:**

1. Обосновать схему распиловки бревна параллельно образующей.
2. Исследовать и сравнить появление поперечного коробления и разнотолщинности из-за деформаций усушки пиломатериалов, полученных при распиловке традиционным способом и параллельно образующей.
3. Сравнить потери пиломатериалов из-за различных дефектов сушки при исследуемых схемах распиловки.

4. Исследовать и математически описать связь между различными способами распиловки и прочностью пиломатериалов.
5. Теоретически и экспериментально обосновать эффективность распиловки пиловочника параллельно образующей на поверхности бревна.

**Научную новизну работы составляют:**

1. Теоретическое обоснование методики оценки дефектов сушки пиломатериалов, получаемых при распиловке бревен параллельно образующей.
2. Математические модели, описывающие изменение модуля продольной упругости в поперечных сечениях и в продольном направлении в пиломатериалах, полученных распиловкой пиловочника с использованием традиционных схем и параллельно образующей.
3. Математическая модель жесткости пиломатериалов при изгибе с учетом действия в них начальных напряжений, сформировавшихся в процессе роста деревьев для случаев традиционных схем раскроя пиловочника и параллельно образующей.

**Теоретическая значимость работы.** Научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность разработанной схемы распиловки бревен параллельно образующей по сравнению с традиционной распиловкой.

Теоретически и экспериментально доказана связь сбега бревна с распределением модуля продольной упругости по длине бревна при традиционном способе распиловки и по схеме параллельно образующей.

Математические модели распределения модуля продольной упругости по объему пиломатериалов позволяют оценить их изгибную прочность при любой схеме распиловки пиловочника.

**Практическая значимость работы.** Практические рекомендации по выбору схемы распиловки параллельно образующей с учетом сбежистости бревен позволяют получить пиломатериалы с более высокой изгибной прочностью.

Сравнительную оценку прочности пиломатериалов конструкционного назначения можно выполнять с использованием математических моделей модуля продольной упругости для случаев традиционных схем раскроя пиловочника и параллельно образующей.

Результаты исследований могут быть использованы на лесопильных и лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях с целью получения пиломатериалов повышенной прочности и жесткости.

Применение результатов исследований в промышленном производстве позволит в зависимости от назначения пиломатериалов выбирать схему раскроя пиловочника.

**Методология и методы исследования.** Исследования основывались на использовании обоснованных методов и методик научного поиска. Информационную базу исследований составили материалы научных трудов, собственные исследования, материалы конференций и периодических изданий,

научная и учебная литература. Экспериментальные исследования проводились на лесопильном предприятии ООО «Инзалес».

### **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Прогнозирование качества пиломатериалов при выборе схемы раскроя пиловочника.
2. Распиловка пиловочника по схеме параллельно образующей позволяет получить пиломатериалы с более высокой прочностью при изгибе по сравнению с пиломатериалами, полученными традиционной распиловкой.
3. Математическая модель модуля продольной упругости пиломатериалов описывает их прочность при любой схеме раскроя пиловочника.

**Степень достоверности** научных положений обеспечивается обоснованными расчетными схемами и использованием разработанных методами сопротивления материалов и теории упругости математических моделей; современными средствами научного поиска; результатами испытаний, проведенных на предприятии.

Достоверность результатов теоретических исследований подтверждена сравнением их с данными проведенного эксперимента.

**Апробация работы.** Результаты исследований апробированы в промышленных условиях на лесопильном предприятии ООО «Инзалес» и внедрены в производственные процессы при изготовлении конструкционных пиломатериалов, получаемых распиловкой параллельно образующей.

Основные результаты и теоретические положения диссертационной работы представлены и доложены на научно-технических конференциях «Современные проблемы переработки древесины» в 2011г., 2012г. в г. Санкт-Петербург, «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» в 2015г. в г. Воронеж.

**Публикации.** По результатам исследований было опубликовано 9 статей, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых журналах ВАК.

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

## **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, структуре и объеме диссертации.

**В первом разделе** «Анализ состояния вопроса. Цель и задачи исследований» проведен обзор и анализ литературных источников, посвященных различным способам распиловки бревен на пиломатериалы. Сравниваются различные схемы распиловки пиловочника, в том числе традиционным способом и параллельно образующей на поверхности бревна.

Анализ опубликованных работ показывает, что при распиловке бревен параллельно образующей достигается более эффективное использование древесины параболической зоны за счет увеличения ширины постова.

Объемный выход пиломатериалов при распиловке параллельно образующей в среднем на 1,5% больше, чем при традиционном способе за счет использования несколько большего объема сбеговой зоны необрезных досок.

подавляющее большинство работ, опубликованных в научной печати и посвященных качеству сушки древесины, содержат результаты исследований пиломатериалов, полученных при использовании традиционных схем распиловки, которые не всегда учитывают анизотропию свойств древесины. Потери из-за дефектов сушки таких пиломатериалов достаточно велики и составляют по разным данным до 25-30%.

В настоящее время деревообрабатывающая промышленность недостаточно обеспечена научно обоснованными методами, позволяющими оценить качественные и прочностные свойства древесины после сушки.

**Во втором разделе** «Теоретическое обоснование появления дефектов сушки из-за анизотропии древесины» рассмотрены основные дефекты сушки пиломатериалов и причины их появления.

Древесина представляет собой неоднородный анизотропный материал, следствием чего является появление различных дефектов сушки пиломатериалов, к которым относятся поперечное коробление, разнотолщинность по ширине сечения из-за поперечного коробления, растрескивание, образование остаточных напряжений и др.

Дефектами сушки, появляющимися из-за анизотропии древесины можно управлять, выбирая рациональную схему раскроя сырья.

Первопричиной многих дефектов сушки пиломатериалов являются возникающие в них внутренние напряжения. В свою очередь, главной причиной появления напряжений считается градиент гигроскопической влажности по сечению пиломатериала. Даже при сушке с равномерным снижением гигроскопической влажности по объему пиломатериалов в ней появятся внутренние напряжения, которые зависят от различия физико-механических свойств в основных направлениях анизотропии. Это внешне отражается на качестве древесины и изменении формы материала.

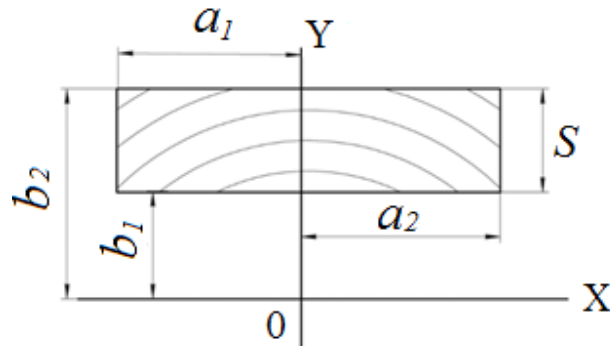
При традиционной распиловке усушка, поперечное коробление, разнотолщинность и припуск на механическую обработку не меняются по длине доски, при распиловке параллельно образующей, предполагается, что эти показатели будут меняться.

Один из дефектов сушки - поперечное коробление досок - связан с внутренними напряжениями в древесине при сушке и сам способен оказывать влияние на их величину.

При распиловке параллельно образующей координаты наружной пласти доски по отношению к оси бревна оказываются разными на торцах: вершинный торец при этом будет иметь поперечное коробление заметно большее, чем комлевой торец согласно формуле, полученной Глухих В.Н. и Зариповым Ш.Г.:

$$f_{\kappa} = (1 - \Delta W K_r) \sqrt{a_2^2 + b_2^2} \left[ \cos \left( \frac{1 - \Delta W K_t}{1 - \Delta W K_t} \arctg \frac{a_2}{b_2} \right) - \cos \left( \arctg \frac{a_2}{b_2} \right) \right] \quad (1)$$

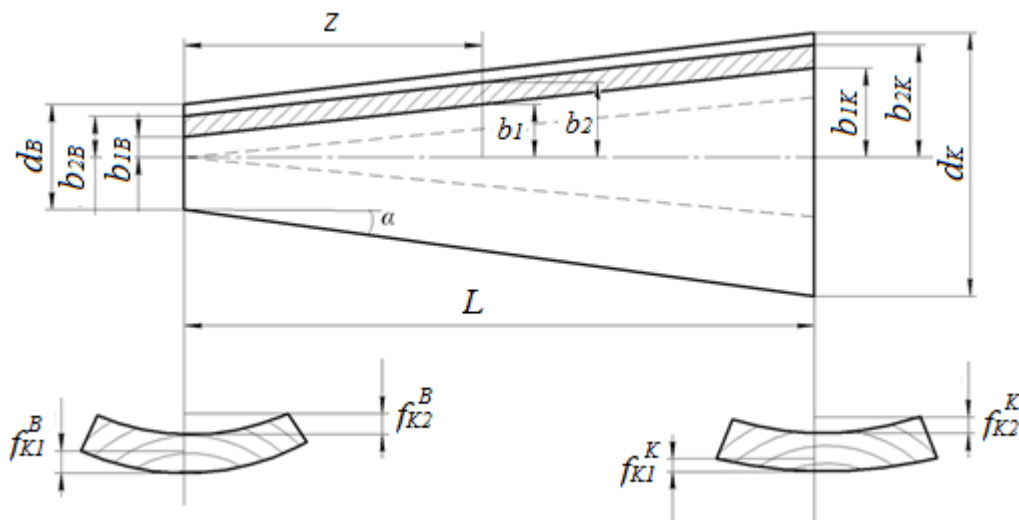
где  $f_k$  - поперечное коробление доски, мм;  $a_1, a_2, b_1, b_2$  - координаты кромки и наружной пласти доски относительно продольной оси бревна, мм (рис.1);  $\Delta W = (W_{\text{ПГ}} - W_{\text{кон}})$  - снижение гигроскопической влажности при сушке доски, %;  $W_{\text{ПГ}}$  - предел гигроскопической влажности древесины, %;  $W_{\text{кон}}$  - конечная влажность доски при сушке, %;  $K_r, K_t$  - коэффициенты усушки древесины в радиальном и тангенциальном направлениях.



**Рис. 1.** Расчетная схема сечения доски по определению его положения по отношению к продольной оси бревна.

При подстановке вместо  $b_2$  координат наружной пласти вершинного и комлевого торца доски, можно видеть, что поперечное коробление, в отличие от досок, полученных при традиционной распиловке, изменяется по длине доски от наибольшего на вершинном до наименьшего значения на комлевом торце.

Решая геометрическую задачу, можно связать координаты наружной пласти доски в различных сечениях с размерами и сбегом бревна (рис.2).



**Рис. 2.** Схема расположения доски при распиловке бревна с образованием сердцевинного клина

Таким образом, изменение величины поперечного коробления наружной пласти доски по ее длине можно проанализировать по формуле, полученной из (1):

$$f_{K2} = (1 - \Delta WK_r) \sqrt{a_2^2 + \left(b_{2B} + K_c \frac{z}{L}\right)^2} \left[ \cos \left( \frac{1 - \Delta WK_t}{1 - \Delta WK_t} \arctg \frac{a_2}{\left(b_{2B} + K_c \frac{z}{L}\right)} \right) - \right. \\ \left. - \cos \left( \arctg \frac{a_2}{\left(b_{2B} + K_c \frac{z}{L}\right)} \right) \right]. \quad (2)$$

По полученной формуле (2) можно вычислить поперечное коробление доски с учетом сбега бревна в любом сечении по ее длине.

В вершинном торце:

$$f_{K2}^B = (1 - \Delta WK_r) \sqrt{a_2^2 + b_{2B}^2} \left[ \cos \left( \frac{1 - \Delta WK_t}{1 - \Delta WK_t} \arctg \frac{a_2}{b_{2B}} \right) - \cos \left( \arctg \frac{a_2}{b_{2B}} \right) \right] \quad (3)$$

в комлевом торце:

$$f_{K2}^K = (1 - \Delta WK_r) \sqrt{a_2^2 + (b_{2B} + K_c)^2} \left[ \cos \left( \frac{1 - \Delta WK_t}{1 - \Delta WK_t} \arctg \frac{a_2}{(b_{2B} + K_c)} \right) - \right. \\ \left. - \cos \left( \arctg \frac{a_2}{(b_{2B} + K_c)} \right) \right]. \quad (4)$$

Таким образом, при использовании математической модели поперечного коробления доски на стадии составления схем раскроя бревен можно получить пиломатериалы с менее выраженной анизотропией.

**Третья глава** «Теоретический анализ деформаций усушки в пиломатериалах, полученных распиловкой параллельно образующей» посвящена сравнению деформаций усушки по объему пиломатериалов, поперечного коробления, разнотолщинности и потерь древесины при механической обработке при распиловке традиционным способом и параллельно образующей.

Изменение деформаций усушки при распиловке бревен параллельно образующей в вершинном торце:

$$\text{для наружной пласти: } K_{x2} = \frac{1}{x^2 + b_{2z}^2} [K_t b_{2z}^2 + K_r x^2 + (K_t - K_r) x b_{2z}], \quad (5)$$

$$\text{для внутренней пласти: } K_{x1} = \frac{1}{x^2 + b_{1z}^2} [K_t b_{1z}^2 + K_r x^2 + (K_t - K_r) x b_{1z}], \quad (6)$$

где  $x$ -координата точки на пласти доски.

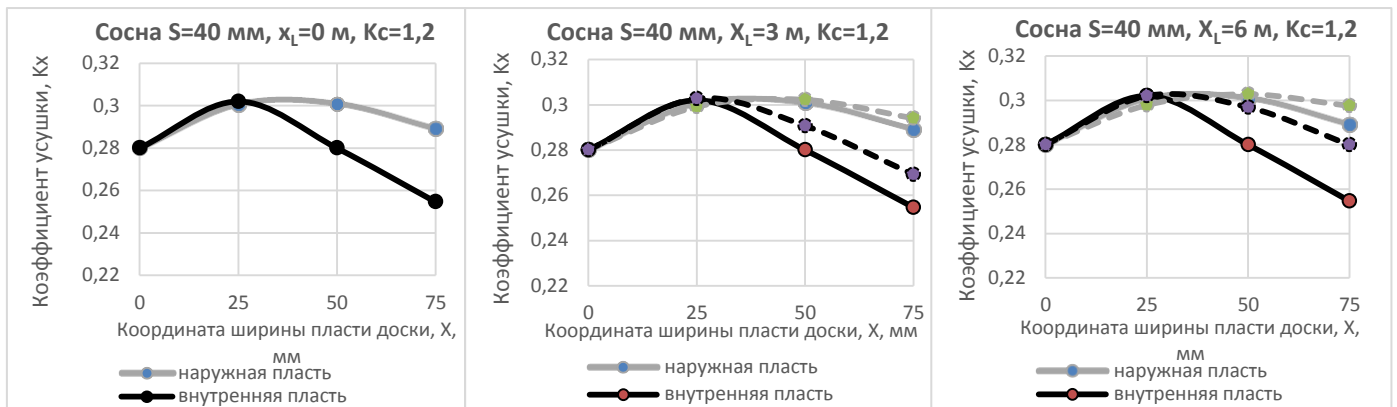
В комлевом сечении коэффициент усушки по ширине пласти изменяется по аналогичному закону:

$$K_{x1} = K_t \frac{b_{1k}^2}{x^2 + b_{1k}^2} + K_r \frac{x^2}{x^2 + b_{1k}^2} + (K_t - K_r) \frac{x b_{1k}}{x^2 + b_{1k}^2}, \quad (7)$$

$$K_{x2} = K_t \frac{b_{2k}^2}{x^2 + b_{2k}^2} + K_r \frac{x^2}{x^2 + b_{2k}^2} + (K_t - K_r) \frac{x b_{2k}}{x^2 + b_{2k}^2}. \quad (8)$$

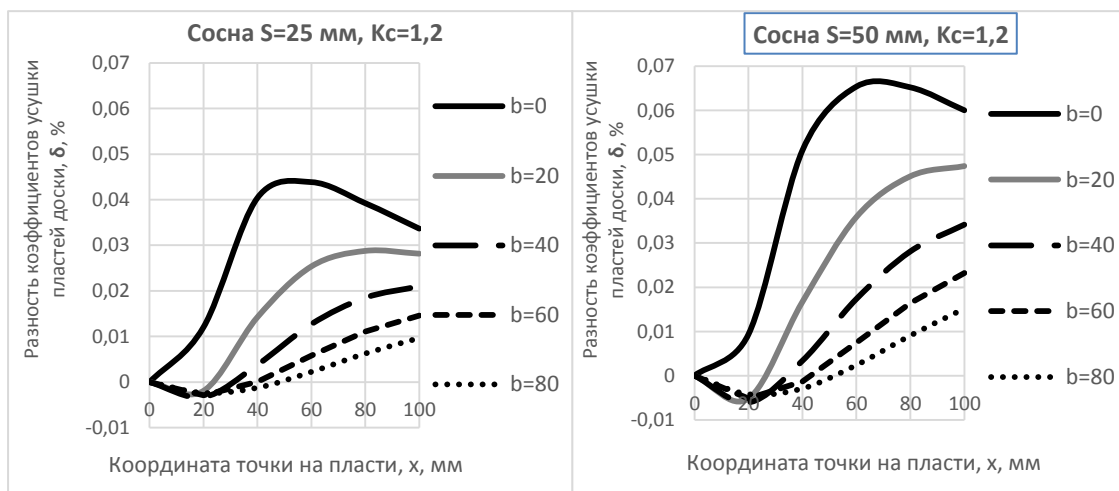
На рис.3 графически проиллюстрировано изменение коэффициентов усушки по ширине пласти пиломатериалов, полученных при традиционной распиловке и параллельно образующей. Видно, что в вершинном торце коэффициенты усушки в сравниваемых способах равны, а в комлевом торце при распиловке параллельно образующей коэффициент усушки меньше, чем при традиционной распиловке.





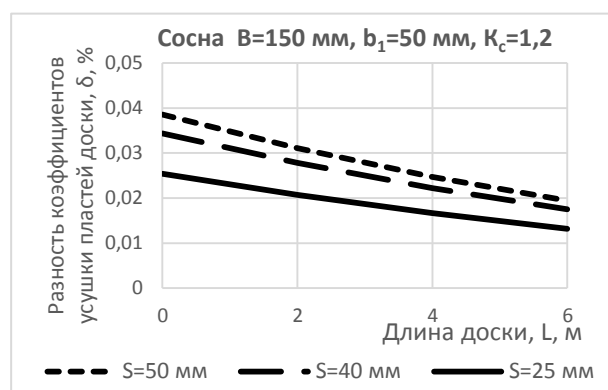
**Рис. 3.** Изменение коэффициента усушки по ширине пласти доски, полученной при распиловке: — по схеме параллельно образующей, — — по традиционной схеме

Анализируя графики на рис. 4 можно заключить, что для всех исследованных толщин наибольшую разность усушки пластей имеют доски, выпиленные из центральной зоны бревна, наименьшую разность усушки пластей имеют доски из периферийной зоны бревна.



**Рис. 4.** Изменение разности коэффициентов усушки пластей сосновых досок в зависимости от расположения их на схеме раскроя бревен

На графике (рис.5) проиллюстрировано изменение коэффициента усушки по ширине пласти в направлении длины доски.



**Рис. 5.** Изменение разности коэффициентов усушки пластей в зависимости от длины доски при распиловке параллельно образующей

Максимального значения коэффициент усушки достигает в вершинном торце доски при распиловке бревна параллельно образующей и традиционным способом. При традиционной распиловке это значение сохраняется по всей длине доски, а при распиловке параллельно образующей значение коэффициента усушки начинает снижаться от вершинного к комлевому торцу бревна.

В исследованиях были рассмотрены разные положения доски на схеме раскроя пиловочника при распиловке традиционным способом и параллельно образующей. Ниже рассмотрены результаты расчетов изменения поперечного коробления и припуска на механическую обработку при толщине доски  $S = 40$  мм, влажности  $W_k = 10\%$ , расстоянии до наружной пласти доски  $b_1 = 130$  мм и коэффициенте сбега  $K_c = 1,3$ .

При распиловке, когда торцы доски находятся по одну сторону от продольной оси бревна (рис.6):

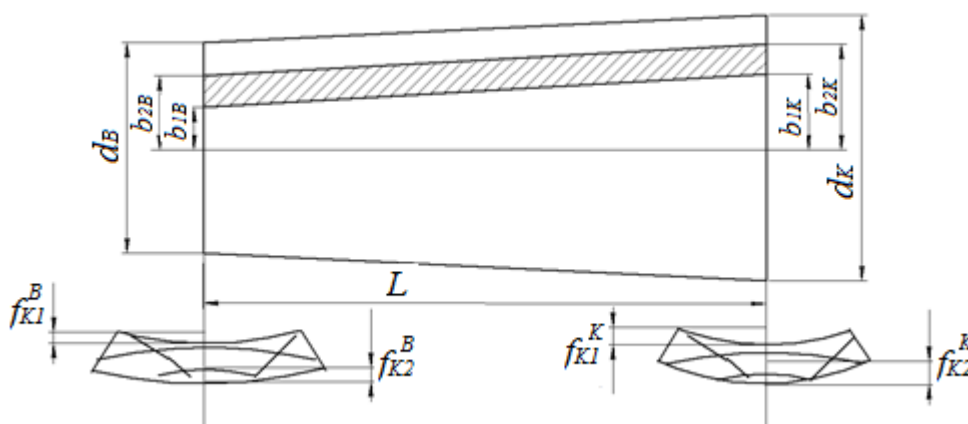


Рис. 6. Схема доски с торцами, расположенными по одну сторону от сердцевинной трубки при распиловке параллельно образующей бревна

При таком способе распиловки бревна (рис.6) доски, полученные традиционным способом и распиловкой параллельно образующей, имеют одинаковое поперечное коробление в вершинном торце. У пиломатериалов, полученных распиловкой параллельно образующей, коробление уменьшается от вершины к комлю, а у пиломатериалов, распиленных традиционным способом, коробление по всей длине доски одинаково (рис.7).

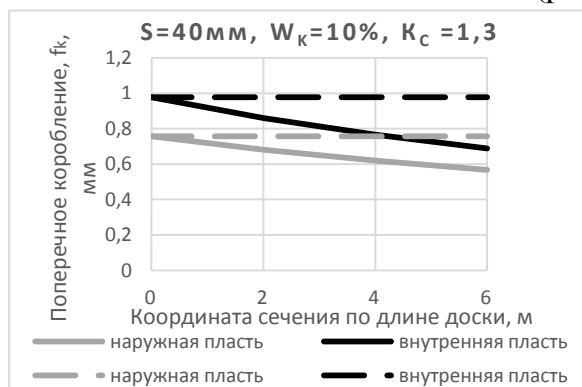


Рис. 7. Изменение поперечного коробления пластей доски по ее длине  
 распиловка параллельно образующей;  традиционная распиловка

Но припуск и в том и в другом случае назначается по вершинному торцу. Поэтому составляющая припуска на механическую обработку по обеим схемам раскроя одинакова.

В случае, когда торцы доски находятся по разные стороны от продольной оси бревна при распиловке параллельно образующей, поперечное коробление наружной пласти будет изменяться и по величине и по знаку (рис. 8).

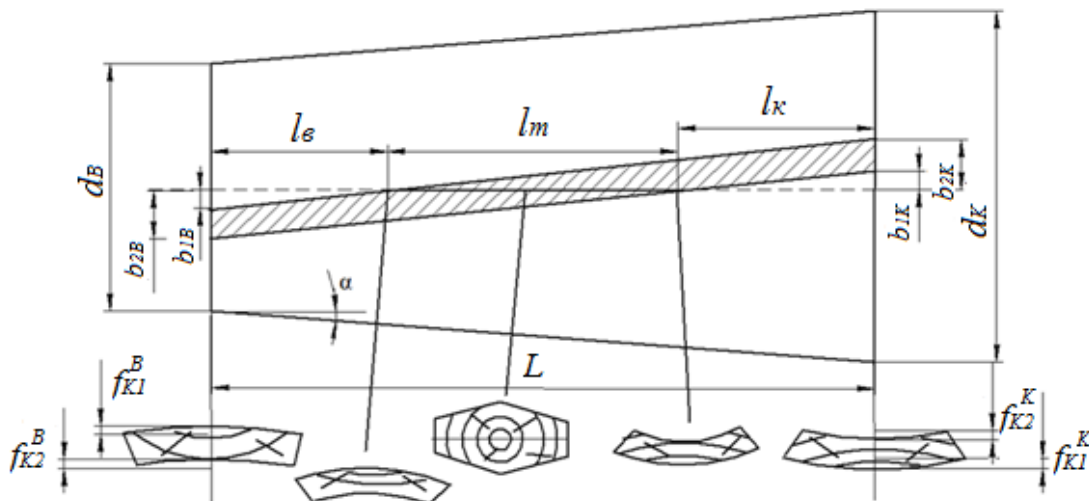


Рис. 8. Схема доски с торцами, расположенными по разные стороны от оси бревна

В некоторой части длины доски  $l_m$  сердцевинная трубка находится внутри доски. Посередине этого участка, где усушка пластей одинакова, разнотолщинность по ширине будет максимальной, а, следовательно, максимальным будет расход сухой древесины в стружку при механической обработке. До середины этого участка поперечное коробление одного знака уменьшается до нуля и затем увеличивается к концу участка, приобретая противоположный знак. Для создания базирующих поверхностей с каждой пласти нужно снять слой древесины толщиной, равной поперечному короблению внутренней пласти на соответствующем конце доски. Припуск на механическую обработку такой доски из-за поперечного коробления заметно больше, чем у центральных досок, полученных при осевой распиловке.

При распиловке обзолных досок параллельно образующей (рис.9):

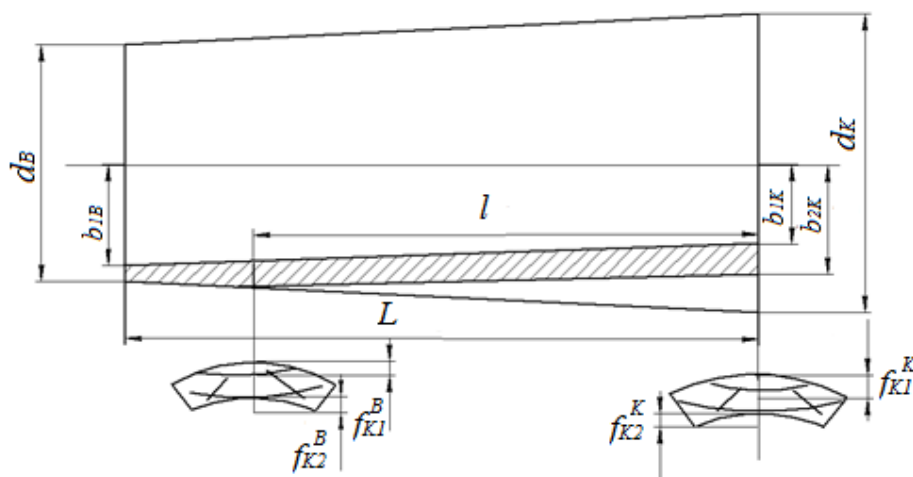


Рис. 9. Схема распиловки обзолных досок

В рассмотренном примере при выпиливании обзолной доски традиционным способом, в результате ее укорочения до необзолной, получается длина доски 1,7 м. При распиловке параллельно образующей, длина необзолной доски составляет 3,8 м (расчеты выполнены при одинаковых координатах пластей досок). В случае последней распиловки получается больший объемный выход.

С увеличением координаты пласти доски поперечное коробление внутренней и наружной пластей снижается при распиловке параллельно образующей. Также себя проявляет разнотолщинность и припуск на механическую обработку.

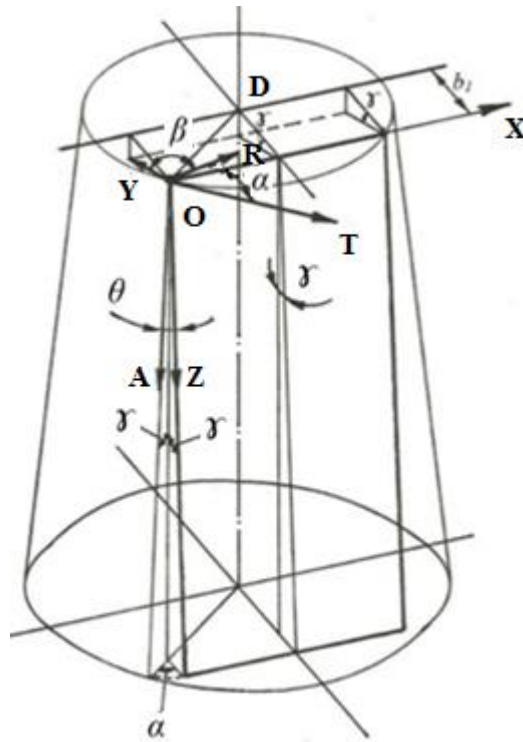
При распиловке бревна с выводом сбега в одну сторону происходит увеличение объемного выхода пиломатериалов по сравнению с традиционной распиловкой. При распиловке бревна с сердцевинным клином происходит снижение объемного выхода, но при этом увеличивается качественный выход пиломатериалов и снижаются потери пиломатериалов из-за различных дефектов сушки.

С повышением сбежистости бревен эффективность применения схем распиловки параллельно образующей возрастает.

**В четвертом разделе** «Исследование постоянных упругости пиломатериалов, получаемых распиловкой пиловочника параллельно образующей» предложена математическая модель модуля продольной упругости, позволяющая исследовать изгибную прочность пиломатериалов, получаемых традиционной распиловкой и параллельно образующей; математическая модель жесткости пиломатериалов при изгибе с учетом действия в них начальных напряжений, сформировавшихся в процессе роста деревьев для случаев традиционных схем раскроя пиловочника и параллельно образующей.

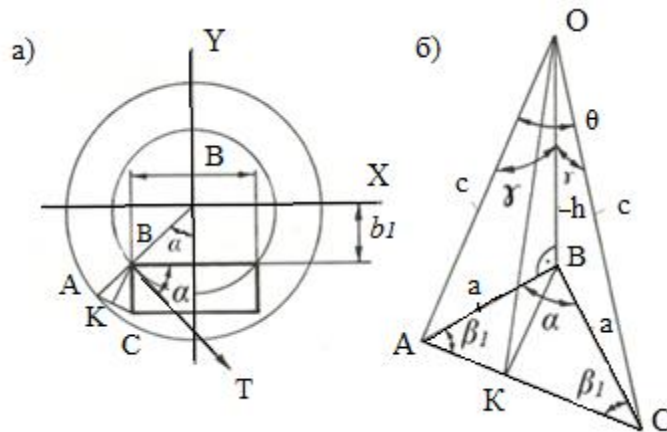
Для определения постоянных упругости и усушки древесины в любом заданном направлении по формулам поворота осей необходимо знать величины углов между заданными и требуемыми направлениями осей. Для древесины, отличающейся своим строением от цилиндрической анизотропии, задача определения этих углов не решалась. Схему анизотропии в некотором приближении можно принять в виде конуса либо параболоида - в зависимости от формы того участка дерева, из которого получен сортимент.

Расчетная схема для определения углов между направлениями сторон доски и главными направлениями анизотропии приведена на рис.10.



**Рис. 10.** Схема положения доски при распиловке бревна параллельно образующей

Для определения угла  $\theta$  между образующей и линией кромки пласти была использована схема (рис.11).



**Рис. 11.** Схема для расчета угла между образующей и линией кромки пласти доски

Согласно рис. 11,а:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{B}{2b_1} \right) \quad (9)$$

С помощью рис.11,б был вычислен угол  $\theta$  между направлениями вдоль волокон древесины (A) и вдоль кромки доски (Z):

$$\theta = 2 \arcsin \left[ \sin \left( \frac{\arctg \left( \frac{B}{2b_1} \right)}{2} \right) \sin \gamma \right]. \quad (10)$$

Для определения угла  $\beta$  между R и Y использована схема (рис.12).



Для определения постоянных упругости в нашей задаче могут быть использованы следующие формулы теории упругости при условии подстановки в них полученных выше направляющих косинусов:

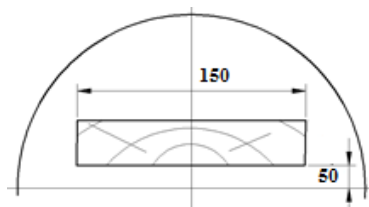
- для модулей упругости:

$$\frac{1}{E_x} = \frac{n_1^4}{E_t} + \frac{l_1^4}{E_r} + \frac{m_1^4}{E_a} + \left(\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu_{tr}}{E_t}\right) \cdot n_1^2 l_1^2 + \left(\frac{1}{G_{ra}} - \frac{2\mu_{ra}}{E_r}\right) \cdot l_1^2 m_1^2 + \left(\frac{1}{G_{at}} - \frac{2\mu_{at}}{E_a}\right) \cdot m_1^2 n_1^2; \quad (14)$$

$$\frac{1}{E_y} = \frac{l_2^4}{E_r} + \frac{n_2^4}{E_t} + \frac{m_2^4}{E_a} + \left(\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu_{tr}}{E_t}\right) \cdot n_2^2 l_2^2 + \left(\frac{1}{G_{ra}} - \frac{2\mu_{ra}}{E_r}\right) \cdot l_2^2 m_2^2 + \left(\frac{1}{G_{at}} - \frac{2\mu_{at}}{E_a}\right) \cdot m_2^2 n_2^2; \quad (15)$$

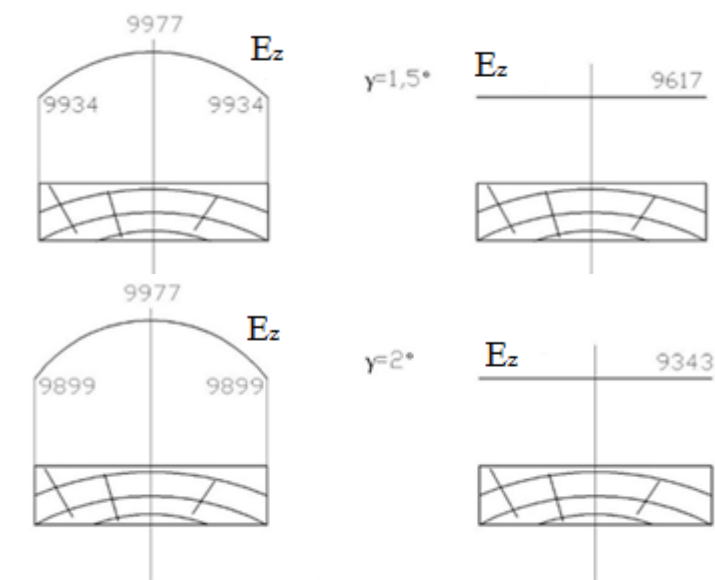
$$\frac{1}{E_z} = \frac{n_3^4}{E_t} + \frac{l_3^4}{E_r} + \frac{m_3^4}{E_a} + \left(\frac{1}{G_{ar}} - \frac{2\mu_{ar}}{E_a}\right) \cdot m_3^2 l_3^2 + \left(\frac{1}{G_{rt}} - \frac{2\mu_{rt}}{E_t}\right) \cdot l_3^2 n_3^2 + \left(\frac{1}{G_{at}} - \frac{2\mu_{at}}{E_a}\right) \cdot m_3^2 n_3^2. \quad (16)$$

На рис. 13 представлены результаты исследований модуля продольной упругости в зависимости от угла наклона образующей к оси бревна по схеме распиловки:



Распиловка параллельно образующей

Традиционная распиловка



**Рис. 13.** Изменение модуля продольной упругости по ширине пласти доски

Впервые было установлено, что при распиловке параллельно образующей по схеме, представленной на рис.13, наибольшее значение модуль продольной упругости при изгибе  $E_z$  достигает в центре доски, ближе к кромкам

уменьшается. При традиционной распиловке модуль продольной упругости по ширине пласти остается постоянным и меняется лишь в зависимости от угла наклона образующей к оси бревна. При удалении доски от продольной оси бревна при распиловке параллельно образующей модуль продольной упругости возрастает, при традиционном способе модуль продольной упругости не меняется.

С увеличением сбega бревна, модуль продольной упругости снижается при обоих способах распиловки, но увеличивается разница между ними. Так, например, при угле наклона образующей к оси бревна на  $1^\circ$  - разница модуля продольной упругости при рассматриваемых способах распиловки составляет в среднем 1%, при  $1,5^\circ$  - 3%, при  $2^\circ$  - 5%, а при  $3^\circ$  - достигает до 11%.

При традиционном способе распиловки модуль продольной упругости остается постоянным по всей длине доски (рис.14). При распиловке параллельно образующей значение модуля продольной упругости увеличивается от вершины к комлевой части доски.

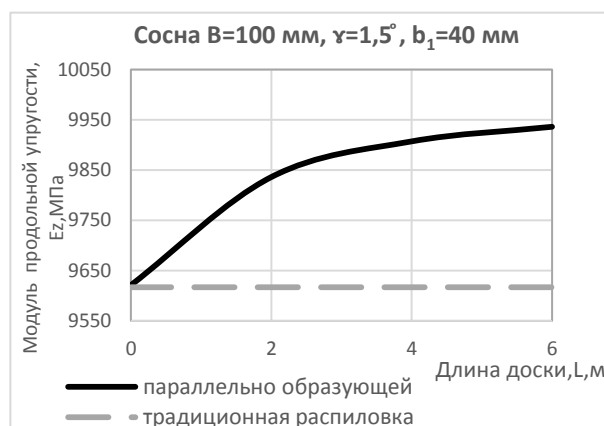


Рис. 14. Изменение модуля продольной упругости по длине доски

Определение жесткости пиломатериалов выполнено для наиболее простых схем балок. По данным С.Г. Лехницкого, уравнение изогнутой оси балки имеет точно такой же вид, как и для изотропной балки, имеющей жесткость  $D$ , равную

$$D = \frac{hS}{12S_1}, \quad (17)$$

где  $S_1 = \int_0^b E_z dy$ ;

$$S = 12 \left[ \int_0^b E_z dy \cdot \int_0^b E_z y^2 dy - \left( \int_0^b E_z y dy \right)^2 \right];$$

$$y = \frac{P}{6D} (z^3 - 3l^2 z + 2l^3). \quad (18)$$

Тогда можно, учитывая это обстоятельство, вычислить прогибы досок, полученных традиционной распиловкой  $y_1$  и распиловкой параллельно образующей  $y_2$  и взять их отношение, т.е.

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{P(z^3 - 3l^2 z + 2l^3)6D_2}{6D_1 \cdot P(z^3 - 3l^2 z + 2l^3)} = \frac{D_2}{D_1} \quad (19)$$

При распиловке параллельно образующей функцию модуля продольной упругости  $E_z$  можно представить в виде алгебраической функции:

$$E_z = E_a - E_{z1}(2y - b)^2 - E_{z2}(2y - b)^4, \quad (20)$$



где  $E_a$ -свободный член уравнения, представляющий значение модуля упругости в слое балки при  $y = \frac{b}{2}$ ;

$E_{z1}, E_{z2}$ - коэффициенты алгебраического уравнения, определяемые из расчета.

При распиловке параллельно образующей, пиломатериалы, выпиленные из периферийной зоны бревна, имеют более высокую жесткость при изгибе, чем из центральной. При традиционном способе распиловки получают пиломатериалы одинаковой жесткости. В процентном соотношении жесткость пиломатериалов при распиловке параллельно образующей ( $\alpha=1,5^\circ$ ) больше в среднем на 3,5 %, чем при традиционном способе. Чем больше сбеги бревна, тем больше разница в жесткости пиломатериалов, полученных распиловкой традиционным способом и параллельно образующей. При угле наклона образующей к оси бревна  $1^\circ$  средняя разница составляет 1,5%, при  $\alpha = 1,5^\circ$  - 3%, при  $\alpha = 2^\circ$  - 6-7%.

**В пятом разделе «Методика проведения экспериментальных исследований»** описан порядок выполнения эксперимента и изложены результаты исследований, посвященных изучению изгиба досок.

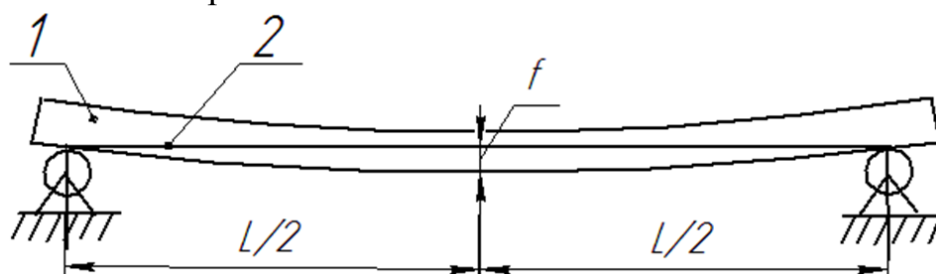
В результате проведения эксперимента определялась порода древесины, производился замер вершинного и комлевого диаметра каждого бревна, замерялась ширина, толщина и длина каждой доски и определялось расстояние от оси бревна до наружной пласти доски на обоих ее концах.

Сравнению подвергались только парные симметричные пиломатериалы, полученные из одной зоны бревна. Благодаря большому количеству проведенных испытаний исследуемого материала влияние плотности, влажности и параметров сучков нивелировалось.

Величину модуля продольной упругости пиломатериалов вычисляли с учетом наличия в них начальных напряжений и использованием результатов измерения прогибов доски от действия собственного веса.

Для учета начальных напряжений, сформировавшихся в процессе роста дерева, оказывающих влияние на величину прогиба, необходимо было производить измерение прогиба со стороны наружной пласти, затем со стороны внутренней пласти доски.

Для исследования изгиба пиломатериалов нами использовалась представленная схема на рис.15.

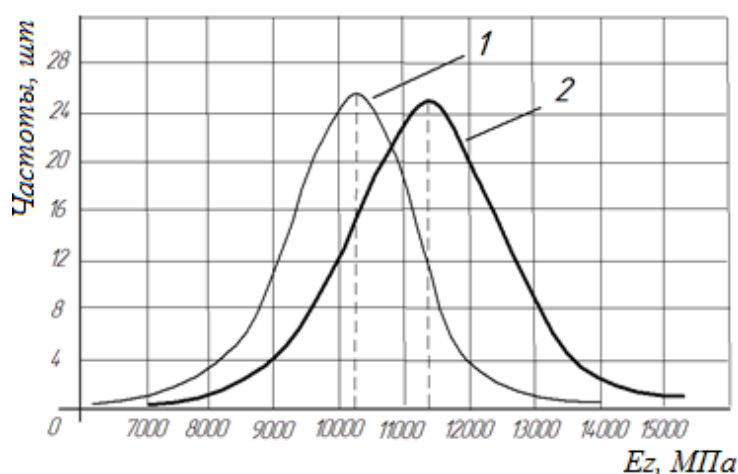


**Рис. 15.** Схема измерения прогиба доски под действием собственного веса  
1-испытуемая доска; 2- тонкая стальная проволока; f-прогиб доски

Используя этот способ, нами была предложена простая и оригинальная схема измерения прогиба досок под действием собственного веса, не требующая специальных установок.

Результаты эксперимента подтверждают теоретические данные по определению модуля продольной упругости. Сохраняется тенденция к увеличению модуля продольной упругости при распиловке бревен параллельно образующей. Но есть и небольшие различия между теоретическими и экспериментальными значениями модуля продольной упругости, которые возникают из-за принятия плотности древесины постоянной по всему объему бревна.

Математико-статистический анализ результатов эксперимента также доказывает, что пиломатериалы, полученные распиловкой параллельно образующей и традиционным способом, значительно отличаются друг от друга. Наглядно это проиллюстрировано на рис. 16.



**Рис. 16.** Кривые нормального распределения модуля продольной упругости при изгибе пиломатериалов: 1- традиционная распиловка, 2- распиловка параллельно образующей.

Поэтому, для получения конструкционных пиломатериалов можно рекомендовать схему распиловки пиловочника параллельно образующей.

Практическая апробация работы проведена на ООО «Инзалес». Применение схемы распиловки пиловочника параллельно образующей даст положительный экономический эффект, который в среднем составляет 7%, за счет увеличения стоимости конструкционных пиломатериалов с более высокой изгибной прочностью.

### **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Схема распиловки пиловочника параллельно образующей рекомендуется в производстве пиломатериалов конструкционного назначения.

2. При распиловке параллельно образующей наибольшая разность коэффициентов усушки пластей, поперечное коробление, разнотолщинность и припуск на механическую обработку характерны для вершинного торца бревна по сравнению с комлевым. С увеличением координаты наружной пласти доски

величина поперечного коробления, разнотолщинности и припуска на механическую обработку снижаются.

3. Рекомендуется выбирать схему распиловки бревна с сердцевинным клином. При распиловке без сердцевинного клина поперечное коробление меняется не только по длине, но и по знаку, что неизбежно приводит к увеличению припуска на механическую обработку.

4. При распиловке бревна с выводом сбега в одну сторону происходит увеличение объемного выхода пиломатериалов по сравнению с традиционной распиловкой. При распиловке бревна с сердцевинным клином происходит снижение объемного выхода, но при этом увеличивается качественный выход пиломатериалов и снижаются потери пиломатериалов из-за различных дефектов сушки.

5. Модуль продольной упругости пиломатериалов, полученных при распиловке параллельно образующей, изменяется по ширине и длине досок; при традиционной распиловке модуль продольной упругости остается постоянным.

6. При распиловке параллельно образующей пиломатериалы, выпиленные из периферийной зоны бревна, более жесткие, чем из центральной. При традиционном способе получают пиломатериалы одинаковой жесткости. С увеличением сбега бревна разница в жесткости пиломатериалов, полученных распиловкой традиционным способом и параллельно образующей, увеличивается и составляет в среднем от 1,5% до 7%.

7. Согласно теоретическим исследованиям, ключевым фактором является то, что пиломатериалы при распиловке параллельно образующей обладают более высоким модулем продольной упругости, а значит, являются более прочными и жесткими, что нашло свое подтверждение при проведении экспериментов.

8. С повышением сбежистости бревен эффективность применения схем распиловки параллельно образующей возрастает.

9. Пиломатериалы, полученные распиловкой параллельно образующей, в среднем на 5-6% более прочные при изгибе, по сравнению с традиционными пиломатериалами.

10. Промышленная апробация результатов исследования на ООО «Инзалес» подтвердила экономическую эффективность получения конструкционных пиломатериалов. За счет повышения стоимости пиломатериалов с более высокой изгибной прочностью, экономический эффект составляет в среднем 7%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

#### **Статьи в ведущих рецензируемых журналах**

1. Храброва О.Ю. Исследование коэффициента усушки досок, полученных распиловкой параллельно образующей /В.Н. Глухих, О.Ю. Храброва // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии-2011.-Вып.197.-с.168-175.

2. Храброва О.Ю. Качество сушки пиломатериалов, получаемых при распиловке бревен параллельно образующей / В.Н. Глухих, О.Ю. Храброва // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии-2012.-Вып.199.- с.158-167.
3. Храброва О.Ю. Постоянные упругости пиломатериалов при распиловке бревен параллельно образующей /В.Н. Глухих, О.Ю. Храброва, А.Л. Акопян// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии-2013.-Вып.203.- с.117-127.
4. Храброва О.Ю. Исследование поперечного коробления пиломатериалов, получаемых при распиловке параллельно образующей и традиционным способом /О.Ю. Храброва // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии- 2016.-Вып. 214- с. 233-246.

#### **В сборниках докладов на конференциях**

5. Храброва О.Ю. Напряжения при изгибе радиальной доски с переменными модулями упругости /В.Н. Глухих, О.Ю. Храброва, А.Л. Акопян// Современные проблемы переработки древесины: Материалы Международной научно-практической конференции март 2011. – Санкт-Петербург, 2011, с. 95-100.
6. Храброва О.Ю. К вопросу о качестве сушки пиломатериалов, полученных при распиловке бревен параллельно образующей /В.Н. Глухих, О.Ю. Храброва// Современные проблемы переработки древесины: Материалы Международной научно-практической конференции март 2011. – Санкт-Петербург, 2011,с.44-47.
7. Храброва О.Ю. Сравнение показателей распиловки бревен традиционным способом и параллельно образующей /О.Ю. Храброва, В.Н. Глухих// Современные проблемы переработки древесины: Материалы Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2012, с. 27-32.
8. Храброва О.Ю. Модуль упругости пиломатериалов при изгибе от действия собственного веса /О.Ю. Храброва// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. науч. тр. по материалам международной заочной научно-практической конференции. Вып.6- Воронеж, 2015, с. 98-103.

#### **В прочих изданиях**

9. Khrabrova O.Yu. Bending of sawn wood products obtained from conventional sawing and parallel to generatrix sawing /Glukhikh V.N., O.Yu. Khrabrova//Architecture and Engineering. Volume 1 Issue 1- SPb, 2016, 4-9 p.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 212.220.03 или прислать отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер. 5., Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.220.03 Бирману А.Р.