

**«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
(Мытищинский филиал)**

На правах рукописи

Каптелкин Александр Александрович

Технология производства пиломатериалов и заготовок из древесины  
берёзы

Специальность 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование  
для лесного хозяйства и переработки древесины»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
д.т.н., профессор  
Рыкунин Станислав Николаевич



Москва – 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Применение пиломатериалов и заготовок из древесины березы .....	12
1.2 Анализ существующих способов продольного раскря круглых лесоматериалов.....	14
1.3 Обзор и анализ работ по раскря пиломатериалов на заготовки .....	17
1.4 Анализ размерно-качественных характеристик пиломатериалов, влияющих на выход заготовок.....	19
1.5 Выводы по главе 1 .....	23
ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХКАНТНОГО БРУСА НА КОЛИЧЕСТВО ТОЛСТЫХ ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ПОСТАВЕ....	24
2.1 Влияние параметров двухкантного бруса на количество толстых обреза пиломатериалов в поставе .....	24
2.2 Безусловная и вероятностная зоны в двухкантном брус .....	35
2.3 Выводы по главе 2 .....	39
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И СБЕГА БЕРЕЗОВЫХ МЕЛКИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК ОЦИЛИНДРОВАННЫХ.....	41
3.1 Переработка тонкомерных березовых круглых лесоматериалов на заготовки оцилиндрованные в условиях ограниченного спроса на технологическую щепу .....	41
3.2 Объемный выход пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов .....	50
3.3 Технология производства березовых тонких пиломатериалов.....	57
3.4 Оптимальная толщина двухкантного бруса при раскря мелких круглых лесоматериалов.....	59
3.5 Выводы по главе 3 .....	62

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕРЕЗОВЫХ СРЕДНИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК.....	63
4.1 Влияние ложного ядра берёзы на объёмный выход ламелей из заболонной зоны для клеёного щита.....	63
4.2 Влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объёмный выход обрезных пиломатериалов с обзолом.....	74
4.3 Раскрой березовых круглых лесоматериалов на пиломатериалы с обзолом.....	77
4.4 Оценка качества пиломатериалов с помощью имитационного моделирования в программе SolidWorks.....	87
4.5 Выводы по главе 4.....	92
ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЮ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК.....	94
5.1 Особенности оборудования лесопильно-деревоперерабатывающих производств.....	94
5.2 Длина круглых лесоматериалов для лесопильно-деревоперерабатывающих производств.....	96
5.3 Формирование параметров групп пиломатериалов при их сортировке.....	97
5.4 Использование тонких пиломатериалов для производства стенового клееного бруса.....	99
5.5 Технология производства ламелей из заболонной зоны для клееного щита.....	108
5.5 Использование тонких березовых пиломатериалов для производства поддонов и опалубки.....	111
5.6 Сортировка пиломатериалов для деревянного домостроения.....	115
5.7 Результаты разработки ГОСТ «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия».....	116
5.8 Выводы по главе 5.....	121

ГЛАВА 6. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТРЕБУЕМЫХ СОВРЕМЕННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ .....	124
6.1 Факторы влияющие на обеспечение занятости в лесопильно- деревоперерабатывающих производствах .....	124
6.2 Особенности использования импортного оборудования .....	126
6.3 Методика определения затрат на заработную плату на лесопильно- деревоперерабатывающих производствах .....	130
6.4 Выводы по главе 6 .....	134
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	135
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	136
Приложение .....	149

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** В России сосредоточены крупнейшие в мире лесные ресурсы [37]. В лесном хозяйстве Российской Федерации происходит замена насаждений хвойных пород березы. При объеме лесозаготовок в 2022 году 190 млн м<sup>3</sup>, объем расчетной лесосеки по березовым насаждениям в Европейской части и Урала составляет около 200 млн м<sup>3</sup>, в том числе 14% от этого объема березовые сортименты для производства пиломатериалов.

Березовые сортименты для производства пиломатериалов возможно направлять на лесопильно-деревоперерабатывающие производства, специализирующиеся на распиловке хвойных пород древесины.

Для разработки технологий производства пиломатериалов и заготовок из древесины березы совместимой с технологией производства из хвойных сортиментов требуется найти новые решения в теории раскроя, установить влияние параметров круглых лесоматериалов на объемный выход пиломатериалов и заготовок, в том числе оцилиндрованных.

Разработка и организация промышленного производства ресурсосберегающей и экологически безопасной технологии глубокой переработки низкосортной древесины в настоящее время для страны является одной из актуальных задач. Особое внимание уделяется ресурсосберегающим технологиям, позволяющим пересмотреть вопросы использования древесины, в том числе низкосортной мягких лиственных пород, для нужд деревянного домостроения, которое является одним из наиболее эффективных видов индивидуального жилищного строительства.

По мере создания новых современных энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки низкосортной древесины березы, для увеличения ее использования в домостроении, необходимо в первую очередь создавать новые технологии производства заготовок.

**Степень разработанности темы.** Вклад в развитие теории рационального раскроя круглых лесоматериалов и пиломатериалов внесли отечественные ученые: Х.Л. Фельдман, Л.В. Кантарович, А.Н. Песоцкий, П.П. Аксенов, Н.А. Батин, В.Ф.

Ветшева, Р.Е. Калитиевский, В.В. Кислый, В.Р. Фергин, В.В. Огурцов, В.Г. Уласовец, А.С. Торопов, С.П. Исаев, А.А. Тамби, Е.С. Шарапов.

Теория раскроя развивается по трем направлениям. Для бревна с заданными параметрами находится оптимальный постав для нахождения обрезных пиломатериалов. Под полученный постав формируется группа круглых лесоматериалов с параметрами близкими к параметрам бревна, для которого находился оптимальный постав. На основе сформированных групп круглых лесоматериалов задачу планирования раскроя круглых лесоматериалов с использованием метода разрешающих множителей решил основатель линейного программирования, лауреат Нобелевской премии Л.В. Кантарович.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования заключалась в разработке эффективных ресурсосберегающих технологий выработки пиломатериалов и заготовок из древесины березы на основе теории раскроя и методов имитационного моделирования.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- установление влияния параметров двухкантного бруса на объемный выход толстых обрезных пиломатериалов;
- установление соотношения диаметров круглых лесоматериалов для получения бруса квадратного сечения и заготовок оцилиндрованных;
- создание технологии производства пиломатериалов и заготовок из березовых мелких круглых лесоматериалов;
- установление влияния диаметра и сбегу березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом;
- установление влияния ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита;
- разработка методики расчёта поставов на обрезные березовые пиломатериалы с заданной величиной обзола для производства клееного щита с лицевой поверхностью из заболонной зоны древесины;
- создание проекта национального стандарта Российской Федерации «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия»;

– разработка методики формирования современных рабочих мест в производстве пиломатериалов.

**Объект исследования** – технологические процессы обработки древесины березы при формировании пиломатериалов и заготовок.

**Предмет исследования** – древесина березы.

**Научная новизна результатов исследований:**

– доказано влияние параметров двухкантного бруса на объемный выход толстых обрезных пиломатериалов;

– доказано наличие безусловной и вероятностной зон в пласти двухкантного бруса для получения толстых досок;

– установлены соотношения диаметров круглых лесоматериалов для получения бруса квадратного сечения и заготовок оцилиндрованных;

– раскрыто влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом.

**Достоверность и обоснованность научных результатов**, выводов и рекомендаций обеспечиваются корректными допущениями при замене реальных процессов имитационным компьютерным моделированием.

Данные по экспериментальной части работы были получены и обработаны с использованием программного обеспечения Microsoft Excel, MathCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, «Дровосек» и по новым исследовательским методикам, разработанных для данных программ.

**Методы исследований.** В работе использовались методы аналитической геометрии и теории вероятностей для исследований размерно-качественных параметров круглых лесоматериалов, пиломатериалов и вырабатываемых из них заготовок.

Для установления влияния параметров круглых лесоматериалов на объемный выход пиломатериалов и заготовок использовались методы компьютерного имитационного моделирования.

**Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

- влияния параметров двухкантного бруса на объемный выход толстых обрезных пиломатериалов;
- установлено наличие безусловной зоны в пласти бруса, обеспечивающая гарантированное получение толстых досок, и вероятностной зоны;
- соотношение диаметров круглых лесоматериалов для получения бруса квадратного сечения и заготовок оцилиндрованных;
- влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом;
- методика формирования современных рабочих мест в производстве пиломатериалов.

**Личный вклад диссертанта в решение поставленных задач.** Предложена и подтверждена гипотеза о том, что, брус максимального объема не гарантирует получение максимального объема толстых пиломатериалов. На основе этой гипотезы разработана технология производства березовых пиломатериалов, совместимая с технологией производства пиломатериалов из хвойных пород.

Полученное соотношение площади сечения бруса максимального объема и площади сечения заготовки оцилиндрованной, позволило выделить группы круглых лесоматериалов для производства заготовок оцилиндрованных, которое дает возможность увеличить сырьевую базу лесопильно-деревоперерабатывающих производств. На этой основе при участии автора в качестве ответственного исполнителя разработан проект ГОСТ Р «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия».

Установлено влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объемный выход березовых пиломатериалов с обзолом и влияния ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита способствует увеличению объемов переработки березовой древесины.

Разработана методика нахождения соотношения заработной платы и амортизационных отчислений, при одинаковой величине чистой прибыли в проектах реконструкции лесопильно-деревоперерабатывающих производств, которая позволит формировать современные рабочие места в производстве пиломатериалов, прогнозировать занятость населения, а также имеет социальную значимость.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

- доказано влияния параметров двухкантного бруса на объемный выход толстых обрезных пиломатериалов;
- доказано наличие безусловной и вероятностной зон в пласти двухкантного бруса для получения толстых досок;
- установлено соотношение площади сечения бруса максимального объема и площади сечения заготовки оцилиндрованной;
- раскрыто влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом;
- создана технология производства пиломатериалов, базирующихся на уменьшении дробности сортировки круглых лесоматериалов и использовании смежных поставов при распиловке двухкантного бруса;
- определено влияние ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита;
- создана технология производства заготовок из заболонной зоны для клееного щита;
- представлена технология производства стенового клееного бруса с использованием короткомерных пиломатериалов, исключаящую операцию склеивания на зубчатый шип;
- создан проект национального стандарта Российской Федерации «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия»;
- представлена методика формирования современных рабочих мест в производстве пиломатериалов.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Основные результаты диссертационной работы соответствуют п. 1 «Параметры и показатели

предмета труда в лесном хозяйстве и лесной промышленности как объекта обработки (технологических воздействий); создание информационных баз» и п. 4 «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлознобумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах» из паспорта специальности 4.3.4. технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины».

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований использовались при разработке национального стандарта «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия».

**Апробация работы.** Основные положения работы были доложены на национальной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2017, 2021, 2022, 2023 гг., на Международном симпозиуме «Лесной комплекс в цифровой экономике» в 2019 г., на научно-технических конференциях «Леса России: политика, промышленность, наука, образование» в 2018, 2020, 2021 гг., на Международной научно-практической конференции «Предиктивный характер научных исследований и практика их реализации в условиях глобального кризиса в экономике и обществе» в 2020 году, на Международной научно-практической конференции «Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике» в 2021 году, на Международной научно-практической конференции «Государство. Бизнес. Общество. Цифровая среда: траектория взаимодействия от теории к практике» в 2021 году, на Международной научно-практической конференции «Постнеклассическая наука: междисциплинарность, проблемно-ориентированность и прикладной характер» в 2021 году, на международной научно-практической конференции «Инновационно-инвестиционный фундамент развития экономики общества и государства: от научных разработок к практике» в 2021 году, на Международной межвузовской научно-практической конференции «Устойчивое развитие в современном нестабильном мире: проблемы теории и практики» в 2023 году, на IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и

перспективы развития лесопромышленного комплекса» в 2021 году, на Международной межвузовской научно-практической конференции «Устойчивое развитие в современном нестабильном мире: проблемы теории и практики» в 2023 году.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 30 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК Российской Федерации, 1 статья в издании Web of Science.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Общий объём диссертации 155 страниц машинописного текста, 130 наименований литературных источников, 36 таблиц, 58 рисунков и приложения на 7 страницах.

## ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Применение пиломатериалов и заготовок из древесины березы

Древесина березы используется в деревянном малоэтажном домостроении согласно ГОСТ Р 59655-2021 [26].

Березовая древесина используется в значительных объемах для производства фанеры и это способствует получению около 14 % сортиментов для производства пиломатериалов и заготовок.

Согласно ГОСТ 11047-90 [14] допускается изготавливать детали из древесины лиственных пород. Перечень деталей, допускаемых к изготовлению из древесины лиственных пород, приведен в Таблице 1.

Таблица 1

Перечень деталей, допускаемых к изготовлению из древесины лиственных пород

Наименование деталей	Порода древесины
Детали каркаса панелей внутренних стен	Береза, осина, ольха, липа, тополь
Щиты и перегородки внутренних стен	
Стойки, бруски, ригели, подкосы, вкладыши, рейки, поперечные планки, доски подшивки и доски настила чердачных перекрытий	
Ходовые доски, доски диагональной жесткости	
Детали лестниц, кроме косоуров	
Детали фронтона и карниза	

Также используются в мебельном производстве, для изготовления клееных щитов, опалубки, поддонов и деревянной тары.

По существующей нормативно-технической документации допускаемый уровень применения лиственных пиломатериалов в производстве деревянных панельных и домов со стенами из местных строительных материалов составляет 60 %, в домах из бруса до 35-40 %.

По сравнению с древесиной хвойных пород березовые круглые лесоматериалы имеют ниже качество, меньше средний диаметр. В Европейской части и Урала расчетная лесосека, по объемам заготавливаемой древесины, значительно уменьшилась. Заменой хвойной древесины в создавшейся ситуации может быть березовая древесина.

Использование древесины в значительных объемах в целлюлозно-бумажном производстве и при производстве плит в настоящее время не представляется возможным, так как для производства, например, 1 м<sup>3</sup> древесно-стружечных плит требуется около 1 млн. евро инвестиций. При этом используется импортное оборудование, что может создать проблему занятости в лесном комплексе.

Из представленных данных следует, что древесина березы может применяться в значительном количестве изделий, в том числе для домостроения.

Березовые пиломатериалы используются для производства:

- пиломатериалов;
- поддонов;
- опалубки;
- тары.

Березовые мелкие круглые лесоматериалы также могут использоваться для производства заготовок, так как являются менее рентабельным для распила, чем средние и крупные лесоматериалы, поэтому зачастую используется в качестве дров или оставляется в месте лесозаготовки.

Такие круглые лесоматериалы, при сплошных рубках, получаются, в основном, из тонкомерных хлыстов к лесозаготовкам и имеют:

- более плотная древесина;
- свежие здоровые сучки;
- отсутствие гнилей.

## 1.2 Анализ существующих способов продольного раскроя круглых лесоматериалов

Теоретическими исследованиями рационального раскроя пиломатериалов занимались такие ученые как Фельдман Х.Л., Л.В. Кантарович, А.Н. Песоцкий, П.П. Аксенов [3], Н.А. Батин, В.Ф. Ветшева [10], Р.Е. Калитиевский, В.В. Кислый [43], В.Р. Фергин, В.В. Огурцов [52], В.Г. Уласовец [87], А.С. Торопов, С.П. Исаев, А.А. Тамби, Е.С. Шарапов и другие.

В настоящее время по раскрою пиловочного сырья сложились две теории:

- 1) Теория максимальных поставов.
- 2) Теория раскроя пиловочного сырья на пилопродукцию заданных размеров.

В теории максимальных поставов ставится и решается следующая задача: определяется количество и оптимальные размеры обрезных досок, дающих наибольший их возможный выход из пиловочного сырья.

По теории максимальных поставов все потери и отходы принимаются зависящими от поставов и могут быть уменьшены за счет нахождения рациональных поставов.

Задача по определению оптимальных размеров обрезных досок не изменилась с начала возникновения теории максимальных поставов, изменялись только методы её решения. Поставленная задача решалась Х.Л. Фельдманом [89], Д.Ф. Шапиро [93], к.т.н. Г.П. Титковым [81], М.Н. Гутерманом, проф. д.ф.-м.н. В.А. Залгаллером [27], проф. д.т.н. Н.А. Батиным [6]. Проф. д.т.н. Г.Д. Власов [12] основываясь на теории максимальных поставов ввел понятие о нормальных поставках.

Основные положения теории раскроя пиловочного сырья на пиломатериалы, пиленые детали и заготовки заданных размеров изложены в работах проф. д.т.н. П.П. Аксенова [3]. Проф. П.П. Аксенов исходит из того, что при раскросе сырья на пиломатериалы последние имеют определенные заданные размеры. При выработке пиломатериалов заданных размеров часть отходов не зависит от поставов. К независимым от поставов отходам и потерям древесины относятся отходы в опилки и потери от усушки.

Критерием рациональности поставов принимается выход пиломатериалов вместе с потерями на усушку и отходами в опилки, который назван теоретическим выходом. Используя понятие о теоретическом выходе, проф. А.А. Аксенов в основу составления поставов заложил принцип ограничения отходов в обзолные рейки.

Несмотря на то, что выработка пиленых деталей и заготовок осуществляется в двух стадиях производства (раскрой брёвен на доски и раскрой досок на заготовки), эти процессы независимо от места их выполнения являются частями единого процесса раскроя [56].

Однако это единство часто нарушается, единый процесс разделяется на два этапа, которые не имеют достаточной связи друг с другом и в результате возникают дополнительные отходы.

В своих работах П.П. Аксенов [3], используя понятие о теоретическом выходе, закладывает принцип ограничения отходов в обзолные рейки. Автором [79] в качестве критериев оптимальности поставов принимаются теоретический и ценностный выходы.

В.В. Огурцов [52] определил пути повышения объемного выхода пиломатериалов при распиловке круглых лесоматериалов.

Для реализации этой цели был разработан алгоритм автоматизированного проектирования оптимальных поставов методом полного перебора. В качестве критерия оптимальности был принят объемный выход пиломатериалов. В качестве непостоянных ограничений выступали номинальные размеры бревен и пиломатериалов. В качестве непостоянных ограничений использовались спецификационные и технологические требования – максимальное количество одновременно вырабатываемых толщин; минимально допустимая разность между смежными толщинами досок; согласованность проходов по толщинам боковых досок; запреты на неспецификационные и технически невыполнимые толщины. Использовались ограничения только по размерам сырья и пилопродукции, были получены поставки, которые невозможно превзойти по объемному выходу в рамках действующих стандартов. Таким образом, были получены предельно (теоретические) объемные выходы пиломатериалов. Были установлены зависимости объемного выхода от толщины и

длины бревна. Определено влияние на потери объемного выхода пиломатериалов дополнительных технологических и спецификационных ограничений.

Определяющими в технологии лесопиления являются:

– вид раскроя (индивидуальный - одной пилой и групповой - несколькими пилами одновременно);

– способ продольного раскроя в зависимости от технических требований к пилопродукции и размерно-качественного состава сырья (распиловка по радиусам годичных слоев – радиальная, по касательной к ним – тангенциальная и параллельно образующей бревен – для получения пиломатериалов без перерезания волокон древесины) и способ раскроя для обеспечения максимального выхода определенных сортиментов и минимизации отходов (распиловка вразвал и с брусовкой). Предпочтительной является распиловка с брусовкой, так как этот способ позволяет увеличить выход специфицированных обрезных пиломатериалов и получать обрезные доски одной ширины:

– тип основного технологического оборудования (лесопильных рам, ленточнопильных станков, круглопильных станков, а также линии на базе фрезерно-брусующих и фрезернопильных линий);

– вид операций продольного раскроя (один, два или более проходов);

– степень механизации и автоматизации технологического процесса.

При проведении анализа существующих технологий лесопиления необходимо рассмотреть также степень и рациональность использования сырья, что определяется выходом специфицированных пиломатериалов, их сортностью.

Кроме того, для выбора оптимальной технологии лесопиления с обеспечением достижения запланированных объемов и качества получаемой конечной продукции рассматривается состав основного технологического оборудования с учетом современных тенденций развития лесопромышленных производств и особенностей местной лесосырьевой базы.

Раскраивать бревна на пиломатериалы можно различными способами: развальным, брусово-развальным, развальным-сегментным, брусово-сегментным и др. Наиболее распространенными являются развальный и брусово-развальный.

Выбор того или иного способа раскря зависит в первую очередь от размерных и качественных факторов сырья и вырабатываемой пиленной продукции. Влияние этих факторов при разных способах раскря на выход исследовалось в многочисленных работах.

Для рационального использования сырья В.Ф. Ветшева [10] рекомендует применять комбинированный способ раскря. Благодаря предлагаемому способу раскря обеспечивается значительное увеличение объемного выхода пилопродукции за счет улучшения использования наиболее качественной сбеговой части бревна, которая при обрезке пиломатериалов попадает в рейку и перерабатывается в технологическую щепу.

С.Н. Рыкунин [60] в своей работе установил, что коэффициент, учитывающий отходы в обзолные рейки, является критерием, определяющим расположение доски в поставе при нахождении плана раскря пиловочного сырья на необрезные пиломатериалы.

### **1.3 Обзор и анализ работ по раскря пиломатериалов на заготовки**

В своей работе В.М. Сытенков [77] исследовал зависимость объемного выхода от длин бездефектных участков и длин заготовок. На основании своих исследований он получил коэффициент градации длин заготовок и длин бездефектных участков. Им была установлена следующая зависимость – с увеличением числа одновременно раскраиваемых типоразмеров заготовок по длине и ширине доски – повышается коэффициент градации, и, как следствие объемный выход заготовок.

В.С. Ясинский [54] отмечает, что применение индивидуально-комбинированного раскря по бездефектным участкам позволяет увеличить объемный выход заготовок на 3 %, заготовок импоста на 3,2 %, заготовок для коробок на 6,2 % по сравнению с групповым способом раскря.

Важным положением теории раскря пиловочного сырья на заданную продукцию является единство процессов раскря пиловочного сырья на пиломатериалы и производства пилёных деталей и заготовок.

В.В. Кислым [43] было установлено, что на объемный выход заготовок не всегда влияет сортность пиломатериалов. Автором было отмечено, что при раскросе пиломатериалов III и IV сортов, удельный вес заготовок первой группы всегда выше 45 %. При этом отходы образующиеся, при раскросе пиломатериалов подразделяет на две группы:

- 1-отходы из-за несоответствия формы и размеров досок и заготовок;
- 2-отходы из-за несоответствия качества пиломатериалов и категории качества заготовок.

Исследованиями влияния качества пиломатериалов на выход стройдеталей занималась Т.С. Сластенко [44, 74, 75]. Автором установлена корреляционная зависимость между качеством досок и объемным выходом заготовок.

Н.В. Куликова [46] в своей работе выдвинула гипотезу о значительном увеличении объёмного выхода обрезных пиломатериалов из необрезных за счёт увеличения использования сбеговой зоны путём уменьшения по толщине при обрезке пропиленной части кромки.

Е.Г. Владимировой [11, 13] установлено, что существенное влияние на выход оказывает спецификация вырабатываемых заготовок, при раскросе выпиливают заготовки двух – четырех размеров по длине. Увеличение числа размеров по длине одновременно вырабатываемых заготовок, способствует увеличению их выхода, однако усложняет работу на участке торцовки.

Е.В. Кравцов [38] получил оптимизационная математическая модель процесса поперечного раскроса пиломатериалов на заготовки, учитывающая размерно-качественные характеристики пиломатериалов и заготовок, является обобщенной математической моделью, описывающей технологический процесс поперечного раскроса пиломатериалов на заготовки. Автор утверждает, что использование математической модели позволяет находить дробность сортировки пиломатериалов, оптимальные планы раскроса пиломатериалов на заготовки и разработку технологии производства заготовок из древесины березы для домостроения по выбранному критерию оптимизации.

Из краткого обзора работ, направленных на определение рационального раскроя пиломатериалов на заготовки следует, что в данной области проведено немало работ и получены результаты, касающиеся способов раскроя пиломатериалов. А также проведены глубокие исследования качественных характеристик пиломатериалов, что позволяет прогнозировать объемный выход продукции из них.

#### **1.4 Анализ размерно-качественных характеристик пиломатериалов, влияющих на выход заготовок**

Одним из факторов, определяющим объемный выход заготовок из пиломатериалов, является качество древесины. При этом теоретически объемный выход заготовок можно приблизить к максимальному, если использовать пиломатериалы, соответствующие по качеству заготовок. Но в большинстве случаев пороки, присутствующие в пиломатериалах не всегда допускаются в заготовках.

В основу показателей, определяющих оценку качества пиломатериалов и заготовок в действующих стандартах, положен принцип отнесения пиломатериалов и заготовок с приблизительно однородными эксплуатационными свойствами к одному сорту.

Однако, качественная оценка и посортное деление достаточно сложный процесс. Так, например, количество сучков в пиломатериалах и деталях по ГОСТ 8486-86 [15] определяется одновременно максимальными размерами сучка, количеством сучков на погонный метр, а также в долях ширины пласти и толщины кромки доски или детали. Кроме того, учитываются качество и степень срастания сучка с древесиной.

В ряде странах проводится исследования по оценке качества древесины, определению и систематизации сортообразующих пороков, их распространению в древесном сырье и пиломатериалах [103].

Одним из первостепенных сортообразующих пороков как для пиловочного сырья, так и для пиломатериалов являются сучки. Это можно подтвердить, рассмат-

ривая проводимые в разное время научные работы, как исследовательскими институтами, так и отдельными учеными [9].

По мнению Аксенова П.П. [3], необходимо было создание единой шкалы оценки качества древесины как в бревнах, так и в пиломатериалах и заготовках. По этой шкале предполагалось деление древесины на классы с указанием абсолютных размеров допускаемых пороков и затем производить раскрой пиломатериалов на заготовки соответствующих классов, что тем самым значительно снизит отходы.

Ветшева В.Ф. [11] в своей работе отмечает, что при теоретическом решении возможен дифференцированный учет пороков, при этом необходимо иметь в виду, что наиболее встречающимся пороком являются сучки.

Качество пиломатериалов она предлагает оценивать качественным коэффициентом, определяющим количество пороков в определенной зоне доски. При этом при наличии разных качественных зон в доске, ее качество определяется по самому низкому коэффициенту качества. Коэффициент качества партии досок рассчитывается как среднее арифметическое, с учетом объема пиломатериалов, полученных из каждой зоны.

Выполненные работы Кислым В.В. [44], Сластенко Т.С. [74] направлены на совершенствование методов оценки качества пиломатериалов, предназначенных для раскроя. В этих работах особое внимание уделяется неоднородности качества по длине пиломатериалов одного сорта. Авторы предлагают неоднородность качества досок учитывать при оценке сортности каждого метрового участка её длины и суммировании соответствующих значений коэффициента сортности [45]. По их мнению, главным в определении сорта пиломатериалов является размещение пороков древесины по длине доски.

Действующая нормативно-техническая документация устанавливает технические требования к пиломатериалам, предназначенным для использования в народном хозяйстве и на экспорт [15].

При этом установленные нормы ограничения пороков по ГОСТ 8486-86, не в полном объеме учитывают влияние пороков на выход заготовок и пиломатериалов. Поэтому при использовании пиломатериалов по ГОСТ 8486-86 для использования,

например, деталей столярно-строительных изделий не обеспечивается постоянный выход заготовок из досок одного сорта. Среди досок 2...4 сортов, встречается не более 2...5 % таких, у которых каждый метр длины соответствовал бы одному сорту.

У остальных пиломатериалов по ГОСТ 8486-86 сортность по длине доски распределяется от второго до четвертого. Распределения обрезных сосновых пиломатериалов по наличию в досках участков разной длины с повышенной сортностью показывают, что с понижением сортности неоднородность качества досок по длине возрастает [60, 71].

С точки зрения Кислого В.В. и Сластенко Т.С. главным в установлении сорта является размещение пороков древесины по длине доски, поскольку основным критерием оценки качества пиломатериалов является выход из них заготовок одного сорта.

В своей работе Боровиков А.М. утверждает, что для совершенствования производства и использования пилопродукции необходимо отказаться от требований по качеству в функционирующих стандартах на пиломатериалы и заготовки общего назначения. Так как, чем меньше список требований по качеству, тем шире будет диапазон пиломатериалов с допускаемыми параметрами. Он предлагает разделить производство пиломатериалов по функциональному назначению:

- облицовочные;
- поделочные;
- конструкционные.

Боровиков А.М. посредством сбора заключений высококвалифицированных специалистов отметил основные свойства пиломатериалов, используемых в различных деревоперерабатывающих производствах.

Для качественной характеристики пиломатериалов Рыкуниным С.Н. [61] был принят показатель, который имеет наиболее тесную корреляционную связь с коэффициентом  $K_k$ , учитывающим отходы, которые возникают из-за несоответствия качества пиломатериалов качеству заготовок. Коэффициент  $K_k$  рассчитывается по Формуле 1.1:

$$K_K = \frac{V_3}{V_3 + V_{отх.к}}, \quad (1.1)$$

где  $V_3$  - объем заготовок, получаемых из доски;  $V_{отх.к}$  - объем отходов, вызванных несоответствием качества пиломатериалов качеству заготовок.

В качестве примера в Таблице 2 по результатам опытов, выполненных С.Н. Рыкуниным, приводятся значения корреляционных отношений, характеризующие тесноту связи между показателями качества пиломатериалов и значениями коэффициента  $K_K$ .

Таблица 2

Значения корреляционных отношений  $\eta$  при различных показателях оценки качества пиломатериалов

Ширина заготовок, мм	Длина заготовок, мм	Значения $\eta$ при оценке качества пиломатериалов		
		По ГОСТ 2695-83	По количеству сучков на 1м <sup>2</sup> пласти доски	По площади пороков на 1м <sup>2</sup> пласти доски
60	1000	0,44	0,53	0,66
60	1500	0,43	0,52	0,63
60	2500	0,53	0,33	0,61

Из приведенного примера следует, что наиболее тесная корреляционная связь существует между площадью пороков на пласти доски и коэффициентом  $K_K$ .

Величина  $\gamma = \frac{F_{пор}}{F_{пл.д}} \times 100 \%$  может служить достаточно точным показателем для характеристики качества пиломатериалов. Здесь  $F_{пор}$  - площадь пороков на пласти доски и  $F_{пл.д}$  - площадь пласти доски.

Куликовой Н.В. [46] были разработаны регрессионные уравнения, позволяющие рассчитать коэффициенты выхода и коэффициенты качества основных и коротких заготовок с заданными размерно-качественными характеристиками для производства элементов пола из обрезных пиломатериалов и из обрезных пиломатериалов с тупым обзолом из древесины берёзы.

В своей работе Владимирова Е.Г. [11] посредством полученных уравнений объемного выхода основных и коротких заготовок выявила, что оценкой качества пиломатериалов может служить величина выхода основной заготовки. При этом суммарная длина бездефектных участков используется для определения объемного

выхода заготовок и оптимизации плана раскроя, а величина объемного выхода основной заготовки может использоваться в производственных условиях.

Кравцов Н.В. [38] в своей работе утверждает, что с уменьшением коэффициента объемного выхода основных заготовок, при ухудшении качества пиломатериалов, происходит увеличение коэффициента объемного выхода заготовок свободных размеров длины. В производственных условиях, при определении качества поступающих на раскрой пиломатериалов и отнесения их к той или иной группе качества следует использовать показатель количественного выхода основной заготовки.

## 1.5 Выводы по главе 1

Цель и задачи исследования. Цель исследования заключалась в разработке эффективных ресурсосберегающих технологий выработки пиломатериалов и заготовок из древесины березы на основе теории раскроя и методов имитационного моделирования.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- установление влияния параметров двухкантного бруса на объемный выход толстых обрезных пиломатериалов;
- установление влияния диаметра и сбегу березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом;
- разработка технологии производства пиломатериалов и заготовок из березовых мелких круглых лесоматериалов;
- установление влияния ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита;
- разработка методики расчёта поставок на обрезные березовые пиломатериалы с заданной величиной обзола для производства клееного щита с лицевой поверхностью из заболонной зоны древесины;
- разработка методики формирования современных рабочих мест в производстве пиломатериалов;
- разработка проекта национального стандарта Российской Федерации «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия».

## ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХКАНТНОГО БРУСА НА КОЛИЧЕСТВО ТОЛСТЫХ ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ПОСТАВЕ

### 2.1 Влияние параметров двухкантного бруса на количество толстых обрезных пиломатериалов в поставе

Формирование параметров пиломатериалов, обеспечивающих увеличение спроса [66, 68, 69, 123] и повышению потребительской ценности [35, 48, 99, 110, 111, 112, 117, 118, 119] способствует теория раскроя круглых лесоматериалов на пиломатериалы. При этом учет технологических ограничений и направленность на улучшение технико-экономических показателей отмечается на всех этапах ее развития [1, 3, 27, 28, 29, 89, 52, 54, 81, 82, 83, 84, 85, 90, 92].

Способ раскроя с брусом круглых лесоматериалов на пиломатериалы является основным. В России ежегодно для производства пиломатериалов используется около 80 млн. м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов. Параметры двухкантного бруса обеспечивают объемный выход толстых пиломатериалов в пределах пласти. В теории раскроя решение этой задачи сводится к определению наибольшего по площади прямоугольника, вписывающего в торец круглого лесоматериала в верхнем отрезе [89]. Наибольший по площади прямоугольник, вписанный в круг, это квадрат со сторонами (Форм. 2.1):

$$B = \frac{d}{\sqrt{2}} = 0,707d, \quad (2.1)$$

где  $B$  – ширина стороны квадрата;  $d$  – диаметр круглого лесоматериала в верхнем отрезе.

Площадь поперечного сечения бруса максимального объема (Форм. 2.2):

$$F = B^2 = 0,5d^2. \quad (2.2)$$

В теории раскроя принимается, что объемный выход обрезных пиломатериалов из бруса максимального объема будет максимальным [3].

В соответствии с действующими стандартами обрезные пиломатериалы должны иметь заданные размеры по толщине и ширине. Часть бруса из-за некратности ширины пласти бруса и толщине пиломатериалов не используется для производства толстых пиломатериалов.

Объем неиспользуемой части пласти бруса при получении обрезных толстых пиломатериалов не учитывается в теории раскроя и вывод о том, что объемный выход обрезных толстых пиломатериалов из бруса максимального объема будет максимальным, может быть не очевидным.

Толщина бруса для получения обрезных пиломатериалов номинальных размеров, в большинстве случаев, может быть меньше или больше толщины бруса максимального объема, но площадь его поперечного сечения не может быть больше площади бруса максимального сечения. В Таблице 3 представлены данные отношения площадей поперечных сечений брусьев для получения пиломатериалов номинальных размеров к площади поперечного сечения бруса максимального объема.

Таблица 3

Отношение площади поперечного сечения бруса для получения пиломатериалов номинальных размеров к площади поперечного сечения бруса максимального объема

№ п/п	Толщина бруса Н в долях d	Ширина пласти бруса В в долях d	Площадь поперечного сечения Н*В, d <sup>2</sup>	Отношение площадей поперечных сечений брусьев к площади сечения бруса максимального объема, %
1	0,50	0,87	0,435	87,0
2	0,55	0,84	0,462	91,3
3	0,60	0,80	0,480	96,0
4	0,65	0,76	0,494	98,8
5	0,707	0,707	0,500	100
6	0,75	0,66	0,495	99,0
7	0,80	0,60	0,480	96,0
8	0,85	0,53	0,470	90,0
9	0,90	0,44	0,396	81,5

Из представленной в Таблице 3 данных следует, что площадь поперечного сечения брусьев при толщине  $0,6d$  и  $0,8d$  одинаковы, а их объемы при одинаковой длине равны. Таким образом ширина пласти бруса при толщине  $0,6d$  равен  $0,8d$ , а при толщине бруса  $0,8d$  равен  $0,6d$  [3]. Вероятность получения большего количества обрезных досок, получаемых в пределах пласти бруса будет у бруса, с шириной пласти  $0,8d$  и толщиной  $0,6d$ . Но при этом ширина досок, получаемые из тонкого бруса меньше. Решение о предпочтительном размере толщины двухкантного бруса могут быть приняты после нахождения объема толстых досок по сравнимым вариантам.

Если подтвердится, что брус максимального объема не гарантирует получение максимального объема толстых досок обрезных пиломатериалов, возможны изменения в формировании сортировочных групп круглых лесоматериалов перед их распиловкой и в технологии производства толстых обрезных пиломатериалов.

Объектом исследования является технологические процессы обработки круглых лесоматериалов при формировании пиломатериалов. В качестве методов исследования использовались методы математического анализа, аналитической геометрии и теории вероятности.

Методика нахождения распределения размеров ширины пласти двухкантного бруса при смещении круглого лесоматериала от центра постава.

Среднее значение объема неиспользованной части бруса можно определить по Формуле 2.3:

$$V_{\text{н.б.}} = \frac{L(b+y_1) \times \left(\frac{e+m+y_2}{2}\right)}{10^6}, \quad (2.3)$$

где  $V_{\text{н.б.}}$  – объем неиспользованной части бруса при выработке обрезных пиломатериалов,  $\text{м}^3$ ;  $L$  – длина бревна,  $\text{м}$ ;  $b$  – ширина доски,  $\text{мм}$ ;  $e$  – ширина пропила,  $\text{мм}$ ;  $m$  – толщина доски,  $\text{мм}$ ;  $y_1$  – усушка доски по ширине,  $\text{мм}$ ;  $y_2$  – усушка доски по толщине,  $\text{мм}$ .

Из Формулы 2.3 следует, что на величину неиспользованной части бруса влияет толщина пиломатериалов. Чем больше толщина пиломатериалов, тем больше

неиспользованная часть бруса. На величину неиспользованной части бруса влияет также ширина пропила и усушка.

Влияние приведенных факторов на объемный выход пиломатериалов при различных толщинах бруса и получаемых из него пиломатериалов различной толщины может быть установлено при расчете поставов методом имитационного компьютерного моделирования.

При распиловке с брусом в первом проходе получается двухкантный брус. Ширина его пласти равна ширине пласти четырехкантного бруса. Поэтому в дальнейших исследованиях используется термин двухкантный брус.

Ширина пласти двухкантного бруса зависит от диаметра круглого лесоматериала и расстояния от его продольной оси до пласти бруса и определяется по Формуле 2.4:

$$B = \sqrt{d^2 - 4a^2}; \quad (2.4)$$

где  $B$  – ширина пласти бруса, мм;  $d$  – диаметр круглого лесоматериала, мм;  $a$  – расстояние от продольной оси круглого лесоматериала до пласти бруса, мм.

Расход полупостава для пиломатериалов различной толщины представлен в Таблице 4.

Таблица 4

Расход ширины полупостава при ширине пропила 5,5 мм

Кол-во досок, шт	Расход ширины полупостава, мм					
	Толщина досок 40 мм		Толщина досок 50 мм		Толщина досок 60 мм	
	Порода					
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
2	43,9	44,2	54,3	56,4	64,6	64,9
3	67,3	67,6	82,8	83,2	98,2	98,7
4	90,7	91,1	113,3	113,7	133,7	134,2

На размерообразование пластей бруса оказывает влияние расположение оси круглого лесоматериала относительно центра постава [31]. На Рисунке 2.1 представлен эскиз круглого лесоматериала при выпиливании двухкантного бруса с учетом отклонения продольной оси от центра постава.

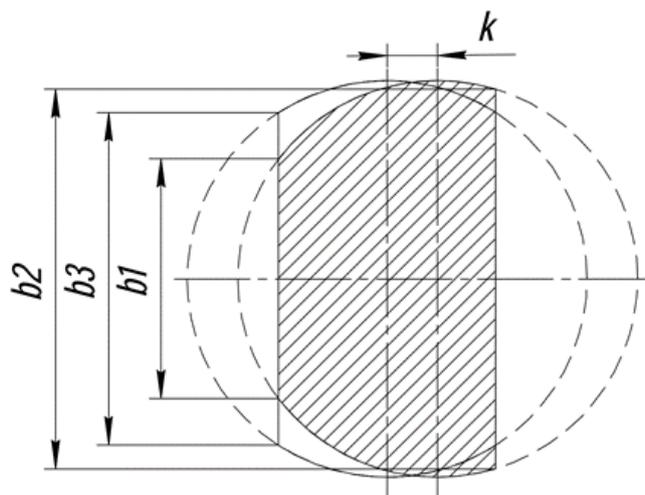


Рисунок 2.1 Эскиз круглого лесоматериала при выпиливании двухкантного бруса с учетом отклонения продольной оси от центра постова:  $b1$  – узкая пластъ двухкантного бруса;  $b2$  – широкая часть двухкантного бруса;  $b3$  – пластъ двухкантного бруса без отклонения;  $k$  – смещение оси круглого лесоматериала от центра постова.

Если продольная ось круглого лесоматериала будет расположена в минусовой зоне от оси постова, ширина левой, по направлению подачи круглого лесоматериала, будет меньше расчетной, ширина правой пласти увеличивается.

В результате получается два распределения размеров ширины для левой и правой пластей двухкантного бруса.

При статистическом контроле качества заготовок, к которым относится и двухкантный брус, используется нормированное нормальное распределение. Между отклонением продольной оси круглого лесоматериала и изменения размеров ширины пласти двухкантного бруса существует функциональная связь. Тогда плотность распределения размеров пласти двухкантного бруса будет такой же, как и при отклонении продольной оси круглого лесоматериала.

При решении задачи нахождения распределения размеров ширины пласти двухкантного бруса при смещении круглого лесоматериала от центра постова использовались следующие параметры нормального распределения:  $X$  – непрерывная случайная величина, принимающая значение по вещественной оси от  $-\infty$  до  $+\infty$ ,

имеет нормальное распределение, если её плотность описывается уравнением (2.5), а функция нормального распределения уравнением (2.6):

$$\varphi(x; \mu; \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \quad (2.5)$$

$$\Phi(x; \mu; \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (2.6)$$

при  $-\infty < x < +\infty$  ( $e = 2,71828\dots$ ,  $\pi = 3,14159\dots$ ), где  $\mu$  – математическое ожидание непрерывной случайной величины  $X$ ,  $\sigma^2$  – дисперсия непрерывной случайной величины  $X$ ,  $x$  – значение ряда выборки.

$$\mu = EX = \int_{-\infty}^{+\infty} |x| b(x) dx < \infty;$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 d(x) dx - \mu^2.$$

Плотность вероятности нормированного нормального распределения (2.7):

$$\varphi(x; 0; 1) = \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}. \quad (2.7)$$

Функция нормированного нормального распределения (2.8):

$$\varphi(x; 0; 1) = \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt, \quad (2.8)$$

где  $t$  – здесь играет роль переменной интегрирования.

Искомая вероятность равна (2.9):

$$P(|X - \mu| < \chi\sigma) = \Phi(\chi) - \Phi(-\chi) = 2\Phi(\chi) - 1. \quad (2.9)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение случайной величины  $X$ ;  $\chi$  – доверительный интервал  $\sigma$ ;  $\chi^2$  – случайная величина, удовлетворяющая  $\chi^2$  распределению.

В результате смещения круглого лесоматериала относительно оси поставы в минусовую зону формируется распределение размеров ширины узкой пласти бруса. Ширина пласти бруса определяется по теореме Пифагора.

Для получения распределения размеров ширины пласти двухкантного бруса нужно определить плотность распределения, и она может быть принята такой же как при смещении круглого лесоматериала, так как между величиной смещения и шириной пласти бруса существует функциональная связь. Приняв эту гипотезу возможно определить количество досок в пределах пласти двухкантного бруса. Тогда функция распределения  $\Phi(x)$  размеров ширины узкой пласти двухкантного бруса может быть рассчитана по Формуле 2.10, и представлена на Рисунке 2.2.

$$\varphi(x; 0; 1) = \varphi(x) = \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt. \quad (2.10)$$

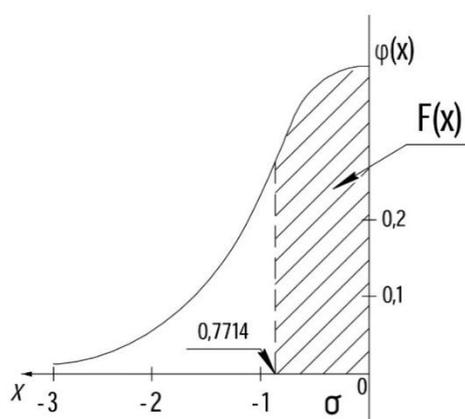


Рисунок 2.2 Функция  $\Phi(x)$  распределения узкой пласти двухкантного бруса  
( $\mu = 0$ ;  $\sigma = 1$ )

Результаты расчетов по Формуле 2.11 табулированы и представлены в Табл. 2.3.

С использованием Таблицы 5 можно определить количество досок заданной толщины из бруса с учетом неточности базирования круглых лесоматериалов. Так, из круглого лесоматериала хвойных пород, за исключением лиственницы диаметром 19 см при толщине двухкантного бруса 125 мм и толщине досок 40 мм получается 2 обрезные толстые доски в безусловной зоне, 0,559 обрезные толстые доски в вероятностной зоне, в березовых круглых лесоматериалах 0,440 обрезные толстые доски в вероятностной зоне.

Функция распределения  $\Phi(x)$  размеров ширины узкой пласти двухкантного бруса

$\chi$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\Phi(x)$	0,0	0,07966	0,15852	0,23582	0,31084	0,38292	0,45149	0,51607
$x$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\Phi(x)$	0,67629	0,63188	0,68269	0,72867	0,76986	0,80640	0,83849	0,86639
$x$	1,6	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
$\Phi(x)$	0,89040	0,91087	0,89040	0,92814	0,94257	0,95450	0,96427	0,99722
$x$	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
$\Phi(x)$	0,97855	0,98360	0,98758	0,99307	0,99489	0,99489	0,99627	0,99730

Можно представить, что при поступлении круглых лесоматериалов с значительной вариативностью параметров случайна величина  $X$  (отклонение продольной оси круглого лесоматериала от центра постава) распределена не по нормальному закону. Тогда вместо соотношения (2.10) используется оценка (2.11):

$$P\left(|X - \mu| < \chi\sigma > 1 - \frac{1}{\chi^2}\right) \quad (2.11)$$

которая может быть получена из неравенства П.Л. Чебышева [76, 95, 102].

Параметры  $\chi$  и  $\sigma^2$  представляют собой соответственно математическое ожидание и дисперсию величины  $X$ . Из формулы 11 для  $\chi = 3$  следует утверждение, которое верно для любого распределения, в интервале  $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$  лежат минимум 89% всех значений  $X$ , в том числе и для распределения, полученного для узкой пласти двухкантного бруса в интервале  $\mu - 3\sigma$ .

Возможные варианты размеров двухкантного бруса по толщине в зависимости от диаметра круглых лесоматериалов представлена на Рисунке 2.3.

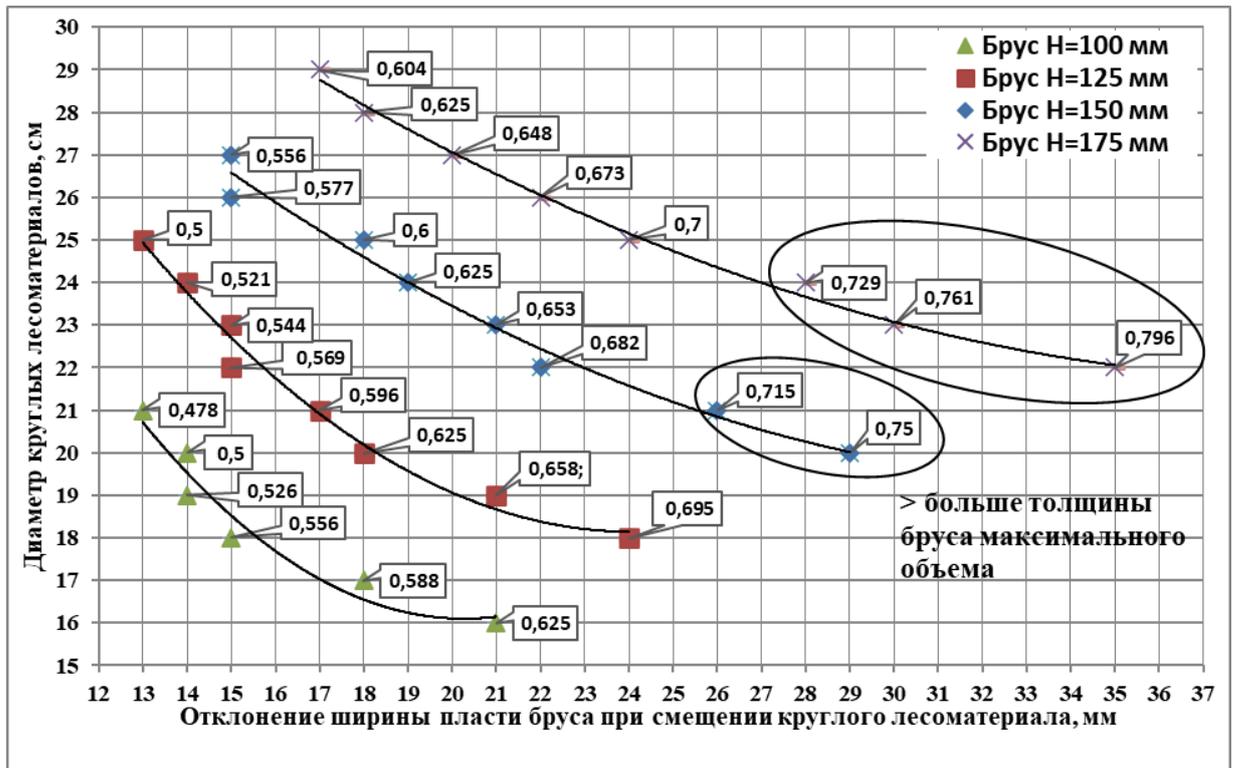


Рисунок 2.3 Возможные варианты размеров двухкантного бруса по толщине при смещении круглого лесоматериала до 10 мм

В Таблицах 6...9 представлены для двухкантного бруса толщиной 100, 125, 150, 175 мм ширина узкой пласти бруса при совмещении продольной оси круглого лесоматериала с центром постава и при смещении продольной оси на 10 мм.

Таблица 6

Ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 100 мм

№ п/п	Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса	Соотношение толщины бруса и диаметра круглого лесоматериала в верхнем отрезе	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при совмещении продольной оси круглого лесоматериала и центра постава	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при смещении продольной оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм
1	16	100	0,625	123	102 (99)
2	17		0,588	135	117 (113)
3	18		0,556	147	132 (128)
4	19		0,526	159	145 (141)
5	20		0,500	172	158 (153)
6	21		0,478	183	170 (165)

Примечание: указаны параметры для хвойных пиломатериалов (кроме лиственницы), в скобках указаны значения по березовым пиломатериалам.

Таблица 7

## Ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 125 мм

№ п/п	Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса	Соотношение толщины бруса и диаметра круглого лесоматериала в верхнем отрезе	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при совмещении продольной оси круглого лесоматериала и центра постава	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при смещении продольной оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм
1	18	125	0,695	126	102 (99)
2	19		0,658	140	119 (115)
3	20		0,625	153	135 (131)
4	21		0,596	166	149 (144)
5	22		0,569	178	163 (158)
6	23		0,544	191	176 (171)
7	24		0,521	203	189 (183)
8	25		0,500	214	201 (195)

Таблица 8

## Ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 150 мм

№ п/п	Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса	Соотношение толщины бруса и диаметра круглого лесоматериала в верхнем отрезе	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при совмещении продольной оси круглого лесоматериала и центра постава	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при смещении продольной оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм
1	20	150	0,750	127	98 (95)
2	21		0,715	143	117 (113)
3	22		0,682	157	135 (131)
4	23		0,653	171	150 (145)
5	24		0,625	184	165 (160)
6	25		0,600	197	179 (173)

Таблица 8 (продолжение)

7	26		0,577	210	195 (189)
8	27		0,556	221	206 (200)

Таблица 9

## Ширина узкой пласти двухкантного бруса толщиной 175 мм

№ п/п	Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса	Соотношение толщины бруса и диаметра круглого лесоматериала в верхнем отрезе	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при смещении продольной оси круглого лесоматериала и центра постава	Ширина пласти бруса в верхнем отрезе при смещении продольной оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм
1	22	175	0,796	127	92 (89)
2	23		0,761	144	114 (110)
3	24		0,729	159	133 (129)
4	25		0,700	174	150 (145)
5	26		0,673	188	166 (161)
6	27		0,648	201	181 (175)
7	28		0,625	214	196 (190)
8	29		0,604	227	210 (203)

Отклонение продольной оси круглого лесоматериала от центра постава при выпилке двухкантного бруса при нормальном распределении принято  $3\sigma = 10$  мм [29].

Из представленных материалов в Таблицах 6...9 следует, что чем больше относительная толщина двухкантного бруса в долях  $d$ , тем больше разность между шириной пласти бруса без смещения круглого лесоматериала и шириной пласти с отклонением продольной оси круглого лесоматериала относительно центра постава.

Ограничением при распиловке с брусом является количество толстых досок, получаемых в пределах пласти бруса, которое составляет не менее двух.

Из представленных материалов в Табл. 6...9 следует:

1) при формировании бруса толщиной 100 мм, из группы круглых лесоматериалов  $d = 16...21$  см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,625...0,476)d$ ;

2) при формировании бруса толщиной 125 мм из группы круглых лесоматериалов  $d = 18...25$  см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,695...0,500)d$ ;

3) при формировании бруса толщиной 150 мм из группы круглых лесоматериалов  $d = 20...27$  см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,750...0,556)d$ ;

4) при формировании бруса толщиной 175 мм из группы круглых лесоматериалов  $d = 22...29$  см отношение толщины бруса к диаметру круглых лесоматериалов изменяется в диапазоне  $(0,796...0,604)d$ .

## 2.2 Безусловная и вероятностная зоны в двухкантном брус

В Таблице 10 представлено расчетное количество толстых досок толщиной 40; 50; 60 мм из двухкантных брусьев толщиной 100; 125; 150; 175 мм с учетом смещения оси круглого лесоматериала от центра постава на 10 мм.

Таблица 10

Количество толстых досок из двухкантного бруса при смещении круглого лесоматериала от оси постава до 10 мм

№ п/п	Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Количество досок толщиной 40 мм с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки, шт	Количество досок толщиной 50 мм с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки, шт	Количество досок толщиной 60 мм с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки, шт
1.1	17	100	2	2	-
1.2	18		2,987 (2,935)	2	2

Таблица 10 (продолжение)

1.3	19		3	2	2
1.4	20		3	2,836 (2,626)	2
1.5	21		3	3	2
2.1	18	125	2	1,739 (1,668)	-
2.2	19		2,559 (2,440)	2	2
2.3	20		3	2	2
2.4	21		3	2	2
2.5	22		3	2,904 (2,752)	2
2.6	23		3,850 (3,651)	3	2
2.7	24		4	3	2,842 (2,610)
2.8	25		4	3	3
3.0	20	150	2	-	-
3.1	21		2,667 (2,570)	2	-
3.2	22		3	2	2
3.3	23		3	2	2
3.4	24		3	2,996 (2,971)	2
3.5	25		3,989 (3,933)	3	2
3.6	26		4	3	2,993 (2,930)
3.7	27		4	3	3
4.1	22	175	2	1,592 (1,547)	-
4.2	23		2,652 (2,569)	2	1,544 (1,484)
4.3	24		2,995 (2,982)	2	2
4.4	25		3	2,711 (2,627)	2
4.5	26		3,337 (3,209)	3	2
4.6	27		4 (3,979)	3	2,509 (2,335)
4.7	28		4	3	2,996 (2,962)
4.8	29		4	3	3

Примечание: указаны параметры для хвойных пиломатериалов (кроме листовницы), в скобках указаны значения по березовым пиломатериалам.

Ширина пласти двухкантного бруса может обеспечить получение «n» или «n+1» толстых досок.

Из представленных материалов в Табл. 10 следует, что в пласти двухкантного бруса можно выделить две зоны:

– безусловная зона получения обрезных толстых досок;

– вероятностная зона получения обрезных толстых досок.

Безусловная зона двухкантного бруса:

$$b_{\text{безусл.}} = a_n,$$

где  $a_n$  – расход ширины поставка на выработку  $n$  количества толстых досок.

Вероятностную зону  $b_{\text{вер.}}$  можно представить, как (2.12):

$$b_{\text{вер.}} = b_{\text{расч.}} - b_{\text{min}}, \quad (2.12)$$

где  $b_{\text{расч.}}$  – расчетная ширина пласти бруса.

Вероятностная зона обеспечивает получение « $n+1$ » доски.

Рассчитывается ширина вероятностной зоны  $\Delta$ , определяющая получение « $n+1$ » доски (14):

$$\Delta = b_{\text{расч.}} - a_{n+1}, \quad (2.13)$$

Определяется  $\chi$  доверительный интервал  $\sigma$  (15):

$$\chi = \frac{\Delta}{\sigma} = 0,7714, \quad (2.14)$$

Из Таблицы 5 находится количество « $n+1$ » доски из двухкантного бруса  $F(x) = 0,559$ .

В Таблице 11 представлен объемный выход толстых обрезных досок в безусловной зоне.

Таблица 11

Функция распределения  $\Phi(x)$  размеров ширины узкой пласти двухкантного бруса

Диаметр круглых лесоматериалов в верхнем отрезе, см	Толщина бруса, мм	Объемный выход досок толщиной 40 мм относительно объема бревна	Количество досок толщиной 50 мм с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки, шт	Количество досок толщиной 60 мм с учетом изменения параметров круглых лесоматериалов и условий их распиловки, шт
17	100	30,97%	38,71%	-
18		27,91%	34,88%	41,86%
19		37,31%	31,09%	37,31%
20		33,64%	28,04%	33,64%

Таблица 11 (продолжение)

21		30,38%	37,97%	30,38%
18	125	34,88%	21,80%	-
19		31,09%	38,86%	46,63%
20		42,06%	35,05%	42,06%
21		37,97%	31,65%	37,97%
22		34,62%	28,85%	34,62%
23		31,47%	39,34%	31,47%
24		38,22%	35,83%	28,66%
25		35,09%	32,89%	39,47%
20		150	33,64%	-
21	30,38%		37,97%	-
22	41,54%		34,62%	41,54%
23	37,76%		31,47%	37,76%
24	34,39%		28,66%	34,39%
25	31,58%		39,47%	31,58%
26	38,92%		36,49%	29,19%
27	35,64%		33,42%	40,10%
22	175	32,31%	20,19%	-
23		29,37%	36,71%	22,03%
24		26,75%	33,44%	40,13%
25		36,84%	30,70%	36,84%
26		34,05%	42,57%	34,05%
27		41,58%	38,99%	31,19%
28		38,18%	35,80%	28,64%
29		35,74%	33,51%	40,21%

В диапазоне диаметров круглых лесоматериалов  $d = 17...29$  см только из круглых лесоматериалов  $d = 21$  и  $25$  см получились брусья максимального объема, но полученный из них объемный выход толстых обрезных пиломатериалов не является максимальным.

На Рисунке 2.4 представлена безусловная и вероятностная зона получения обрезных досок.

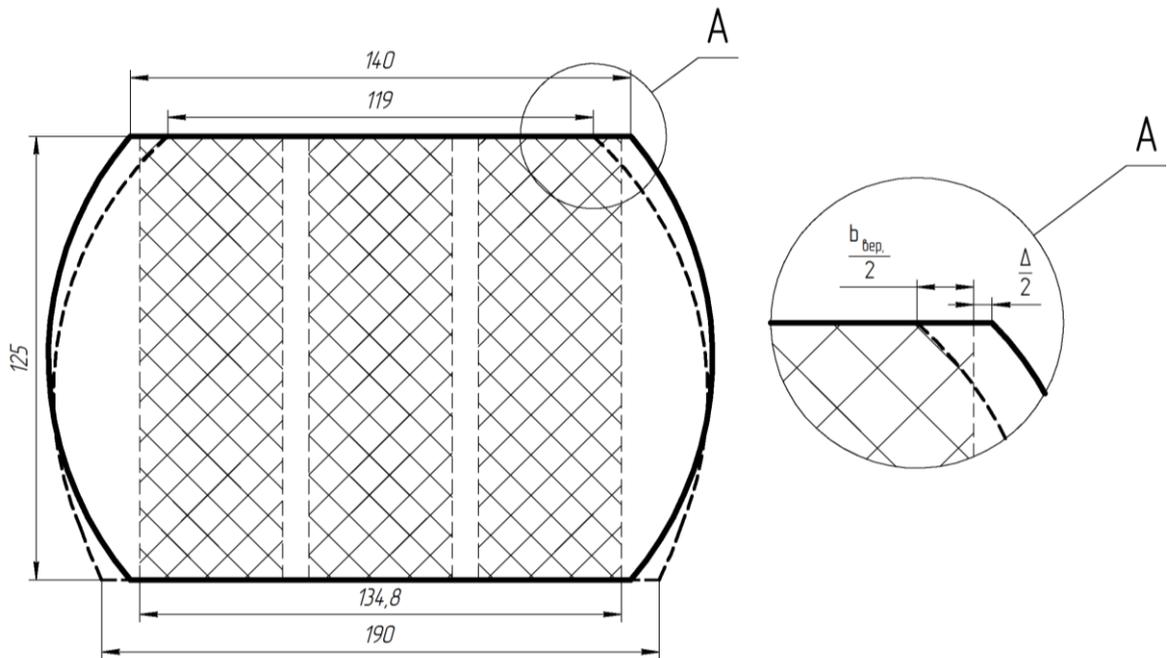


Рисунок 2.4 Безусловная и вероятностная зоны в двухкантном брус

Целое число толстых обрезных пиломатериалов в пределах пласти бруса получается в безусловной зоне. Толстые обрезные пиломатериалы в вероятностной зоне определяются по Таблице 2.3, функция распределения  $\Phi(x)$  размеров ширины узкой пласти двухкантного бруса.

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» в курс лекций и лабораторных работ по дисциплинам «Основы технологии производства», «Инжиниринг в сфере лесозаготовок и деревопереработки» для студентов направления подготовки 35.03.02 и 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» [Приложение].

### 2.3 Выводы по главе 2

1) Брус максимального объема не гарантирует получение максимального суммарного объема толстых досок.

2) Двухкантные брусья толщиной 100 и 125 мм не являются брусьями максимального объема, так как ширина пласти бруса меньше, чем требуется для получения 2-х толстых обрезных досок.

3) Двухкантные брусья толщиной 150 мм и более могут быть брусьями максимального объема.

4) В пласти двухкантного бруса можно выделить две зоны: безусловная и вероятностная зоны получения обрезных толстых пиломатериалов.

5) Получение толстых обрезных досок из двухкантных брусьев, представленных не целым числом, может быть реализовано с использованием сменных или смежных поставов.

### **ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА И СБЕГА БЕРЕЗОВЫХ МЕЛКИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК ОЦИЛИНДРОВАННЫХ**

#### **3.1 Переработка тонкомерных березовых круглых лесоматериалов на заготовки оцилиндрованные в условиях ограниченного спроса на технологическую щепу**

Около половины заготавливаемой в Российской Федерации древесины перерабатывается на пиломатериалы. В процессе производства пиломатериалов получают также технологическая щепу. Ее доля может достигать до 38 % от объема перерабатываемых круглых лесоматериалов. На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях с объемом производства менее 10000 м<sup>3</sup> в год, круглые лесоматериалы перед распиловкой не подвергаются окорке, и качество щепы поэтому невысокое.

Удаленность лесопильно-деревообрабатывающего предприятия от потребителя щепы делает ее реализацию экономически невыгодной. При использовании щепы для получения тепловой энергии, для технологических нужд и отопления остается 40...60 % от первоначального ее объема. Кроме этого, если лесопильно-деревообрабатывающее предприятие берет в аренду лесные участки, еще остается тонкомерная и низкокачественная древесина на лесосеке, которая должна быть вывезена из леса.

Предложение технологической щепы на рынке превышает спрос. Цена на складе лесопильно-деревообрабатывающего предприятия технологической щепы, производимой в лесопильном цехе из неокоренной древесины, составляет около 250 рублей за 1 м<sup>3</sup>, что значительно меньше затрат на ее производство.

Наращивание объемов переработки технологической щепы требует значительных инвестиций. Так, при производстве древесно-стружечных плит для создания одного рабочего места требуется инвестиций не менее 1 млн. евро. При этом,

для создания одного рабочего места в современном деревообрабатывающем производстве требуется около 200 тыс. евро. На малых предприятиях деревообработки объем инвестиций может быть существенно меньше [64].

Исходя из вышеизложенного предлагается использовать тонкомерные круглые лесоматериалы диаметром 6...13 см для производства заготовок на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях. Такая практика имеется для круглых лесоматериалов диаметром 11...13 см. Это происходит в случае, если существующее предприятие не удастся обеспечить круглыми лесоматериалами диаметром от 14 см и выше.

При производстве пиломатериалов из тонких круглых лесоматериалов невозможно получить пиломатериалы из параболической зоны в соответствии с действующими ГОСТ 24454-80 «Пиломатериалы хвойных пород. Размеры» [17; 65]. Пифагорическую зону также нельзя использовать полностью.

Например, имеются круглые лесоматериалы диаметром 10 см. Можно вписать двухкантный брус толщиной  $0.7d$ , но не будет обеспечена минимальная ширина пиломатериалов 75 мм. Кроме этого, необходимо, чтобы ширина пласти бруса была на 20 мм шире для получения обрезных пиломатериалов без обзола.

Распиловка тонких круглых лесоматериалов вразвал приведет к резкому увеличению отходов в обзольные рейки [51].

Коэффициент отходов в обзольные рейки может быть рассчитан по Формуле 3.1:

$$K_{обз} = F_T / F_H, \quad (3.1)$$

где  $K_{обз}$  - коэффициент использования необрезных пиломатериалов, учитывающий отходы в обзольную рейку;  $F_T$  - площадь поперечного сечения обрезной доски трапециевидального вида по пласти на середине длины;  $F_H$  - площадь поперечного сечения необрезной доски на середине длины.

Определять  $F_T$  и  $F_H$  следует в зависимости от расположения доски в поставе (Форм. 3.2, Рис. 3.1).

$$F_T = (a_2 - a_1)(b_1 + b_2)/2, \quad (3.2)$$

где  $a_1$  – расстояние от оси до внутренней пласти доски;  $a_2$  – расстояние от оси до наружной пласти доски;  $b_1$  – ширина внутренней пласти доски;  $b_2$  – ширина наружной пласти доски;  $r$  – радиус бревна.

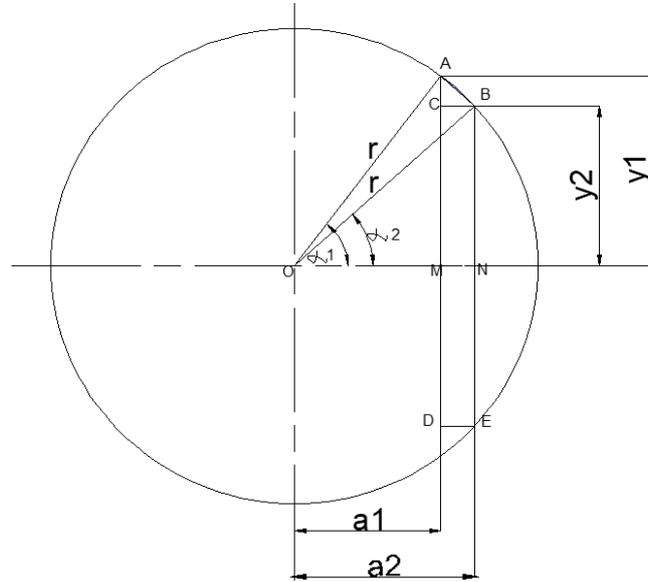


Рисунок 3.1 Схема расчёта  $K_{обз}$

Пусть  $b_1/2 = y_1$ ;  $b_2/2 = y_2$  (Форм. 3.3...3.7).

$$F_H = S_{BCDE} + 2S_{ABC} + 2S_{AB\text{сегмент}}; \quad (3.3)$$

$$S_{BCDE} = 2y_2(a_2 - a_1); \quad (3.4)$$

$$2S_{ABC} = (a_2 - a_1)(y_1 - y_2); \quad (3.5)$$

$$2S_{AB\text{сегмент}} = r^2(\pi(\alpha_1 - \alpha_2)/180^\circ - \sin(\alpha_1 - \alpha_2)) = r^2((\alpha_1 - \alpha_2) - \sin(\alpha_1 - \alpha_2)); \quad (3.6)$$

$$\cos \alpha_1 = a_1/r; \rightarrow \alpha_1 = \arccos(a_1/r);$$

$$\cos \alpha_2 = a_2/r; \rightarrow \alpha_2 = \arccos(a_2/r);$$

$$2S_{AB\text{сегмент}} = r^2[(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r)) - \sin(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r))];$$

$$F_H = 2y_2(a_2 - a_1) + (a_2 - a_1)(y_1 - y_2) + r^2[(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r)) - \sin(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r))];$$

$$F_H = (y_1 + y_2)(a_2 - a_1) + r^2[(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r)) - \sin(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r))]. \quad (3.7)$$

Если принять,  $y_1 = \sqrt{r^2 - a_1^2}$  и  $y_2 = \sqrt{r^2 - a_2^2}$ , то можно вывести зависимость  $K_{обз}$  от удалённости доски от пласти и радиуса бревна на середине длины доски (3.8, 3.9):

$$F_H = (\sqrt{r^2 - a_1^2} + \sqrt{r^2 - a_2^2}) (a_2 - a_1) + r^2 [(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r)) - \sin(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r))]; \quad (3.8)$$

$$K_{обз} = F_T/F_H = (\sqrt{r^2 - a_1^2} + \sqrt{r^2 - a_2^2}) (a_2 - a_1) / [(\sqrt{r^2 - a_1^2} + \sqrt{r^2 - a_2^2}) (a_2 - a_1) + r^2 [(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r)) - \sin(\arccos(a_1/r) - \arccos(a_2/r))]]. \quad (3.9)$$

Вместо получения двухкантного или четырехкантного бруса из тонкомерных круглых лесоматериалов предлагается вырабатывать заготовки оцилиндрованные.

Из теории раскроя известно, что толщина бруса квадратного сечения равна  $H = 0,707d$ , где  $d$  – диаметр круглого лесоматериала в верхнем отрезе, см. Определить диаметр цилиндра с сечением такой же площади можно из равенства (3.10):

$$H^2 = \frac{\pi \times d_{ц}^2}{4}, \quad (3.10)$$

где  $d_{ц}$  – диаметр цилиндра, см;  $H$  – ширина пласти бруса квадратного сечения, см.

Диаметр цилиндра с сечением такой же площади можно получить из равенства (3.11):

$$H = \frac{d_{ц}}{2} \sqrt{\pi} = 0,886 d_{ц};$$

$$d_{ц} = \frac{H}{0,886}. \quad (3.11)$$

Тогда, например, для получения 4-х кантного бруса со стороной  $H = 10,5$  мм требуется круглый лесоматериал  $d_{кр.л.} = 10,5/0,707 = 14,85$  см. Для получения цилиндра с сечением такой же площади требуется круглый лесоматериал  $d_{ц} = H/0,886 = 10,5/0,886 = 11,85$  см.

В качестве примера далее рассматривается получение заготовок оцилиндрованных из березовых круглых лесоматериалов диаметром  $d = 6 \dots 13$  см, длиной 3 м, со сбегом  $S$  в диапазоне от 0,2 см/м до 0,8 см/м. Припуски на обработку круглых лесоматериалов для получения цилиндра принимались равными 10 мм, 15 мм, 20 мм.

Для определения объемного выхода заготовок оцилиндрованных использовались методы компьютерного имитационного моделирования. Припуски на усушку принимались для влажности заготовок 20 %.

Круглые лесоматериалы сортировались по диаметрам на следующие группы:

- с градацией 1 см: 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12 см;
- с градацией 2 см: 6; 8; 10; 12 см.

Указан минимальный диаметр круглых лесоматериалов в группе.

Расчет диаметра цилиндра выполняется по минимальному диаметру в группе. При расчете объемного выхода принималось, что в группе круглые лесоматериалы по диаметрам имеют равномерное распределение [53].

Полученные результаты сведены в Таблицы 12...17.

Таблица 12

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 1 см и припуском на обработку 10 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
6,5	0,005891	54,07 %	49,59 %	45,65 %	42,17 %
7,5	0,008482	59,17 %	54,87 %	51,02 %	47,56 %
8,5	0,011545	63,27 %	59,17 %	55,45 %	52,08 %
9,5	0,015080	66,64 %	62,74 %	59,17 %	55,90 %
10,5	0,019085	69,44 %	65,74 %	62,33 %	59,17 %
11,5	0,023562	71,82 %	68,30 %	65,04 %	62,00 %
12,5	0,028510	73,85 %	70,51 %	67,39 %	64,47 %

Таблица 13

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 1 см и припуском на обработку 15 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
6,5	0,004771	43,79 %	40,17 %	36,98 %	34,15 %
7,5	0,007128	49,72 %	46,11 %	42,87 %	39,97 %
8,5	0,009955	54,56 %	51,02 %	47,82 %	44,90 %
9,5	0,013254	58,57 %	55,14 %	52,01 %	49,13 %
10,5	0,017024	61,94 %	58,64 %	55,59 %	52,78 %
11,5	0,021265	64,82 %	61,64 %	58,70 %	55,96 %
12,5	0,025977	67,29 %	64,24 %	61,40 %	58,74 %

Таблица 14

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 1 см и припуском на обработку 20 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
6,5	0,003770	34,60 %	31,74 %	29,22 %	26,99 %
7,5	0,005891	41,09 %	38,10 %	35,43 %	33,03 %
8,5	0,008482	46,49 %	43,47 %	40,74 %	38,26 %
9,5	0,011545	51,02 %	48,03 %	45,30 %	42,80 %
10,5	0,015080	54,87 %	51,94 %	49,25 %	46,75 %
11,5	0,019085	58,17 %	55,32 %	52,68 %	50,22 %
12,5	0,023562	61,04 %	58,27 %	55,69 %	53,28 %

Таблица 15

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 2 см и припуском на обработку 10 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
7	0,005891	46,91 %	43,28 %	40,06 %	37,18 %
9	0,011545	56,65 %	53,17 %	49,99 %	47,10 %
11	0,019085	63,43 %	60,20 %	57,20 %	54,42 %
13	0,028510	68,40 %	65,42 %	62,63 %	60,01 %

Таблица 16

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 2 см и припуском на обработку 15 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
7	0,004771	38,00 %	35,06 %	32,45 %	30,12 %
9	0,009955	48,85 %	45,84 %	43,11 %	40,61 %
11	0,017024	56,58 %	53,69 %	51,02 %	48,54 %
13	0,025977	62,33 %	59,61 %	57,06 %	54,68 %

Таблица 17

Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов длиной 3 м с градацией при сортировке 2 см и припуском на обработку 20 мм, %

Средний диаметр круглых л/м, см	Объемный выход заготовок оцилиндрованных, м <sup>3</sup>	Сбег, см/м			
		0,2	0,4	0,6	0,8
7	0,003770	30,02 %	27,70 %	25,64 %	23,80 %
9	0,008482	41,62 %	39,06 %	36,73 %	34,60 %
11	0,015080	50,12 %	47,56 %	45,19 %	43,00 %
13	0,023562	56,53 %	54,07 %	51,76 %	49,59 %

Объемный выход заготовок оцилиндрованных относительно бревна изменяется в диапазоне от 23,80 % до 73,85 %.

Наибольшее влияние на объемный выход оказывает диаметр, припуск на обработку и градация при сортировке круглых лесоматериалов.

Припуск на обработку тонких круглых лесоматериалов зависит от величины их кривизны. Допускаемые величины кривизны не должны превышать определенных параметров в каждой сортировочной группе.

Не все березовые круглые лесоматериалы пригодны для выработки из них заготовок оцилиндрованных. Доля пригодных круглых лесоматериалов зависит от таксационных характеристик насаждения.

Заготовки оцилиндрованные могут подвергаться продольному раскрою. Полученные заготовки оцилиндрованные могут быть использованы в деревянном домостроении и в малых архитектурных формах.

Заготовки длиной 3 метра можно сушить в камерах с фронтальной загрузкой. Эти камеры обычно рассчитаны на длину пиломатериалов 6м, и в них возможна загрузка 2-х сушильных пакетов длиной по 3м вместо одного 6-ти метрового.

Формирование сушильного пакета из заготовок оцилиндрованных традиционным способом на прокладках не обеспечит целостность этого пакета, особенно при его перемещении и укладке в сушильный штабель. Использование контейнеров для сушки заготовок оцилиндрованных в этом случае является предпочтительным.

В контейнере, при формировании сушильного пакета, заготовки обычно укладываются на прокладках. Но заготовки оцилиндрованные для сушки в контейнере могут укладываться и без прокладок, что существенно упростит заполнение контейнера заготовками.

В этом случае в сушильной камере с фронтальной загрузкой потребуются изменить направление движения сушильного агента. При сушке пиломатериалов движение сушильного агента осуществляется по отношению к пакету в поперечном направлении, а для пакета без прокладок с заготовками оцилиндрованными – движение сушильного агента должно осуществляться вдоль пакета.

Заготовки оцилиндрованные имеют контакт с контейнером по образующей, в отличие от пиломатериалов, имеющих контакт с прокладками по плоскости. Возможно, это отличие может улучшить условия движения сушильного агента при сушке заготовок оцилиндрованных и улучшить качество сушки.

Выводы по разделу:

1. Объемный выход заготовок оцилиндрованных из мелких березовых круглых лесоматериалов изменится в диапазоне от 34,15 % до 81,41 %. Это является хорошим показателем, так как объемный выход пиломатериалов из средних и крупных круглых лесоматериалов хвойных пород в современных технологиях составляет 48...52 %.

2. Для массового использования тонких сортиментов заготовок оцилиндрованных требуется разработка конструкции изделий с использованием заготовок оцилиндрованных и элементов, получаемых в результате их раскроя.

3. Тонкие оцилиндрованные лесоматериалы могут использоваться в малых жилых архитектурных формах.

4. Диаметр круглого лесоматериала  $d_c$  для получения заготовок оцилиндрованных по площади сечения равной заготовке со стороной квадрата  $H$  определяется по формуле  $d_c = H/0,886$ .

5. Толщина двухкантного бруса  $H$  при раскросе круглых лесоматериалов с брусковой диаметром  $d$  от 10 до 14 см принимается в диапазоне  $H = (0,75-0,875)d$ .

6. На первом проходе при выпилке двухкантного бруса толщиной  $(0,75-0,875)d$  из круглых лесоматериалов диаметром от 10 до 14 см операция по обрезке досок отсутствует.

7. Объемный выход обрезных пиломатериалов из круглых лесоматериалов длиной 3 метра и диаметром 12...14 см зависит от цилиндра круглых лесоматериалов, дробности их сортировки и толщины пиломатериалов и изменяется в диапазоне от 42,17 до 73,85%.

8. Рекомендуется при переработке мелких круглых лесоматериалов на оцилиндрованные заготовки и обрезные пиломатериалы, хлысты раскраивать на сортименты 3 и 6 метров. Это рекомендация особенно актуальна, если в сушильных камерах предусмотрена фронтальная загрузка пиломатериалов.

### **3.2 Объемный выход пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов**

На основе выполненных исследований, с учетом технологических ограничений, разработана технология производства клееного щита, в том числе одностороннего из заболонной древесины березы.

Даны следующие предложения:

- по уменьшению дробности сортировки круглых лесоматериалов;
- по толщине бруса;
- по использованию короткомерных пиломатериалов для производства стенового клееного бруса;
- по определению длины круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов 3 и 6 м и мелких круглых лесоматериалов – 3 м, для производства заготовок оцилиндрованных.

На основе декларации предприятия «ФОРЕСТ» за 2020 год в Кировской области, Игланское участковое лесничество были сделаны расчеты по объёмному выходу тонких пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов диаметром 12, 13 см и средних от 14 до 16 см, с припуском на дальнейшую обработку. Расчеты выполнены с помощью компьютерного имитационного моделирования. Объем вырубок ООО «Форест» представлен на Рисунке 3.2.

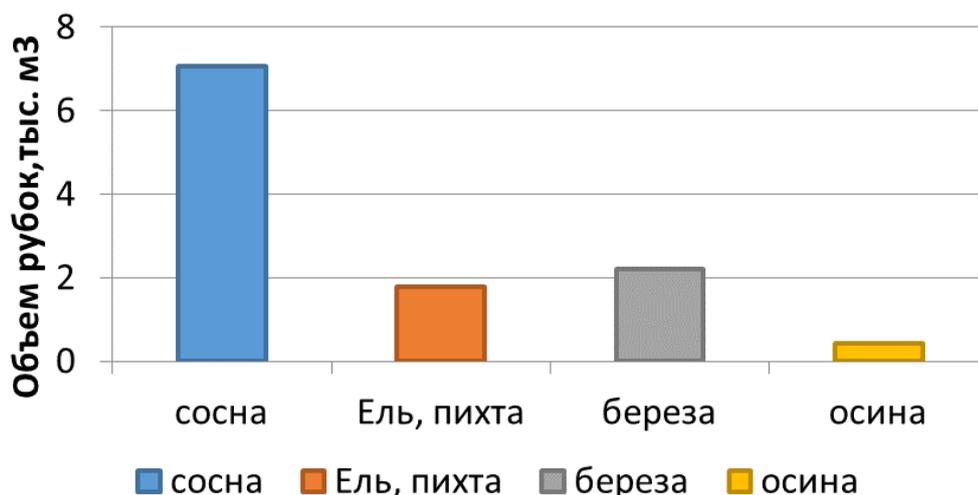


Рисунок 3.2 Объем вырубок ООО «Форест» с. Иглань

Используемая в расчетах Формула сбега (3.12):

$$S = 0,39 + 0,021 \times D_{\text{комл}}, \quad (3.12)$$

где  $D_{\text{комл}}$  – диаметр дерева в комлевой части, см.

Используемая в расчетах формула объема (3.13):

$$V_{\text{брев}} = 3,1416 \times L \times \left( d + \bar{S} \times \frac{L}{2} \right)^2 / 4000, \quad (3.13)$$

где  $L$  – длина бревна, м;  $d$  – верхний диаметр бревна, см;  $\bar{S}$  – среднеарифметическое значение сбега партии бревен, см/м.

Количество и объём деловых хлыстов, получаемых с лесосеки в Кировской области представлены на Рисунках 3.3, 3.4.

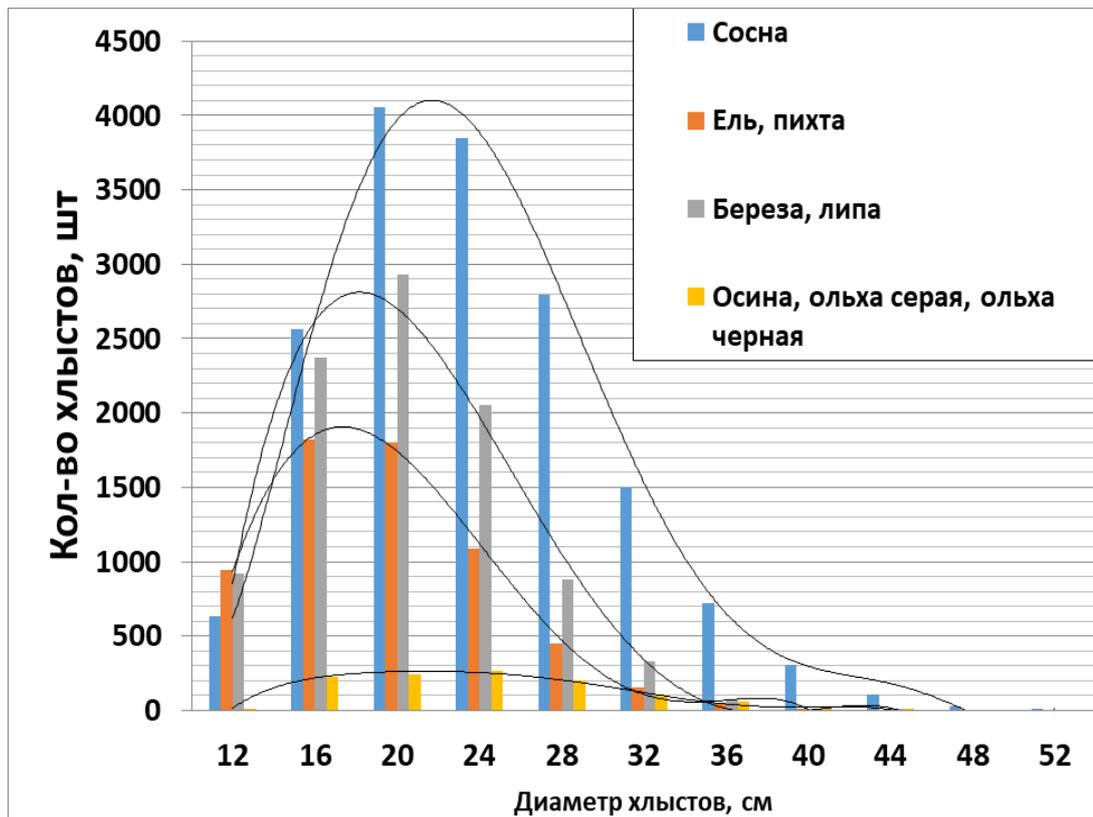


Рисунок 3.3 Количество деловых хлыстов на лесосеке

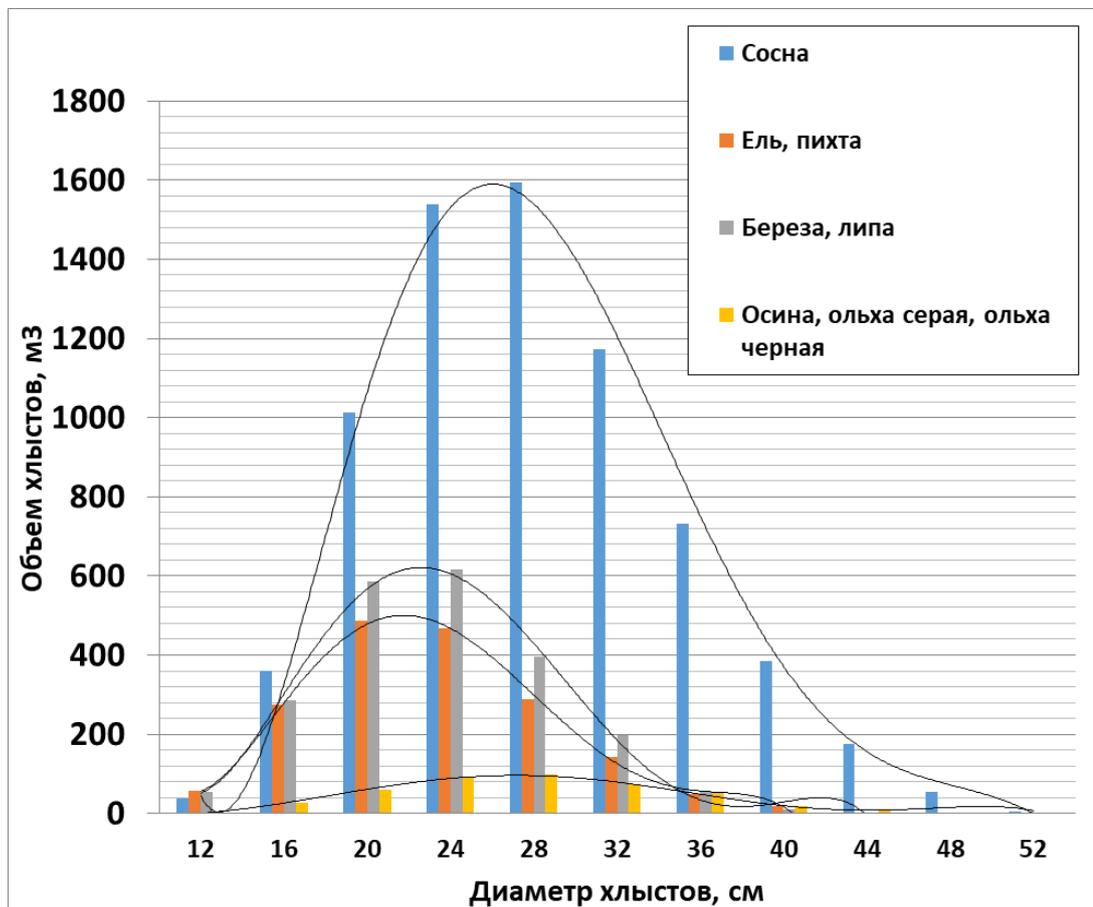


Рисунок 3.4 Объем деловых хлыстов на лесосеке

В последние годы появилась тенденция использования мелких круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов [35].

При проведении сплошных рубок (а они являются основными) лесосека должна быть очищена полностью. Мелкие круглые лесоматериалы используются на целлюлозно-бумажных комбинатах, на плитных производствах.

Не все лесосеки находятся от них в транспортной доступности. Лесопильно-деревоперерабатывающие предприятия более многочисленны, обычно находятся ближе к местам лесозаготовок и наряду со средними и толстыми круглыми лесоматериалами, возможно, могли бы быть потребителями мелких круглых лесоматериалов [48].

Использование мелких круглых лесоматериалов на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях ограничено размерными параметрами пиломатериалов и показателями их объемного выхода.

При поперечной распиловке хлыста получается ряд пиловочных сортиментов диаметром до 14 см. С увеличением диаметра хлыста, количество пиловочных сортиментов так же увеличивается. Целесообразно вырабатывать данные пиловочные сортименты длиной 6 метров.

Группа круглых лесоматериалов от 12 см может быть использована для производства обрезных пиломатериалов, удовлетворяющие требования действующей нормативно-технической документации. Данные лесоматериалы целесообразно распиливать на лесопильно-деревоперерабатывающих предприятиях на 2 сортимента, длиной 3 метра.

Пиломатериалы, получаемые из сортиментов диаметром 12...16 см могут быть использованы для производства клееного бруса. Доля мелких круглых лесоматериалов березовых и сосновых имеют некоторое различие между собой из-за сбега.

Диаметр круглых лесоматериалов оказывает существенное влияние на объемный выход пиломатериалов и технологию их производства.

Доля мелких круглых лесоматериалов диаметром 12, 13 см из хлыста представлен в Таблице 17.

Доля мелких круглых лесоматериалов диаметром 12, 13 см из хлыста для производства стенового клеёного бруса

Порода	Диаметр хлыста, см	Выход круглых лесоматериалов, %
Береза	16,0	25,90
	20,0	16,99
	24,0	8,98
	28,0	6,79
	32,0	5,18
	36,0	2,93
	40,0	1,62
	44,0	0,00
Сосна	16,0	27,95
	20,0	17,41
	24,0	11,86
	28,0	8,29
	32,0	6,01
	36,0	2,91
	40,0	2,14
	44,0	2,32
	48,0	2,52
	52,0	1,28
Ель, Пихта	16,0	28,72
	20,0	17,39
	24,0	11,48
	28,0	7,56
	32,0	5,33
	36,0	0,00
	40,0	2,66

Частота встречаемости мелких круглых лесоматериалов в расчетной лесосеке показана на Рисунке 3.5.

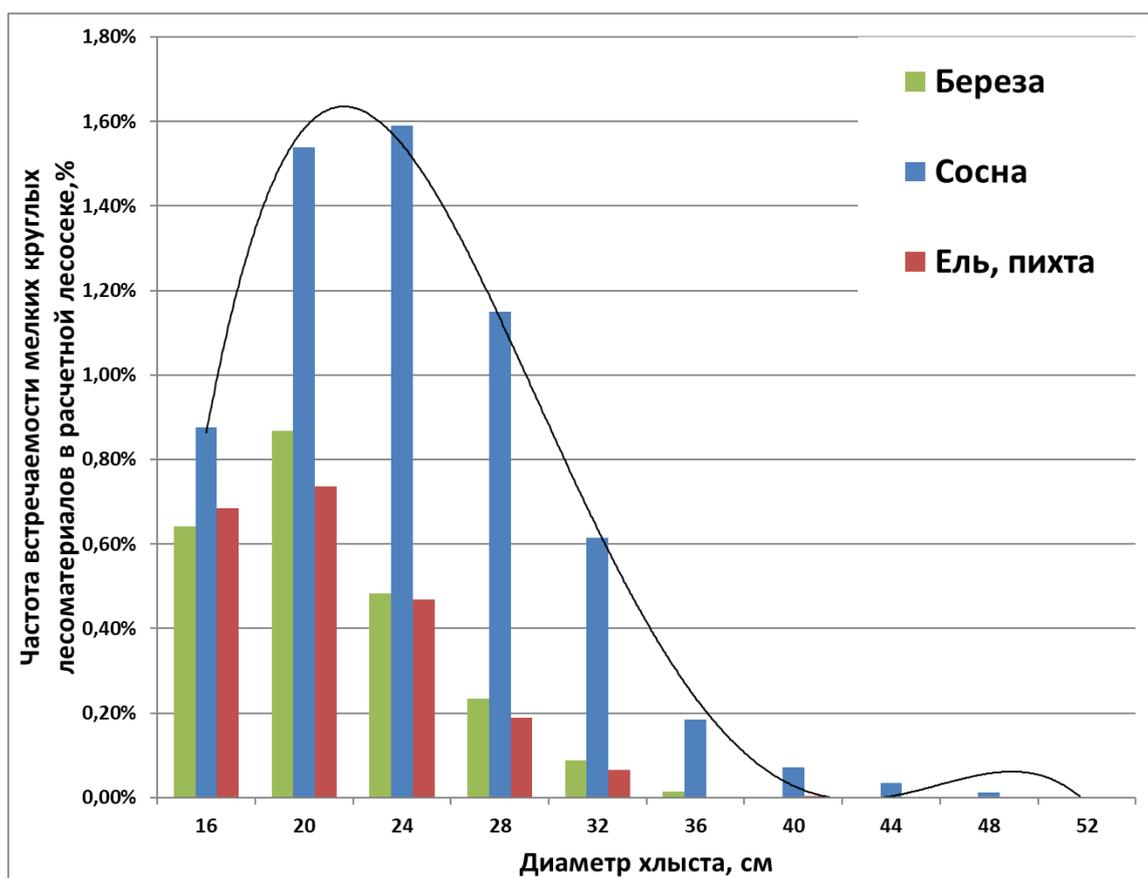


Рисунок 3.5 Частота встречаемости мелких круглых лесоматериалов в расчетной лесосеке

Произведён расчет поставок, для определения объемного выхода пиломатериалов с дальнейшим получением заготовок для стенового клееного бруса.

Объемный выход пиломатериалов из мелких и средних круглых лесоматериалов с лесосеки представлен в Таблице 18.

Таблица 18

Объемный выход пиломатериалов с лесосеки

Порода	Диаметр бревна, см	Толщина пиломатериала, мм	Объемный выход пиломатериалов, %
Береза	12	16	32,91
	13		39,84
	14		34,53
	15		39,04
	16	40,01	
	12	19	27,58
	13		37,45
	14		41,01
15	35,89		

Таблица 18 (продолжение)

	16		38,27	
	12	22	31,94	
	13		27,39	
	14		39,57	
	15		41,56	
	16		36,67	
Сосна	12		16	35,70
	13	38,71		
	14	33,59		
	15	39,23		
	16	43,31		
	12	19	26,77	
	13		38,31	
	14		39,89	
	15		34,94	
	16		38,57	
		12	22	31,00
		13		35,48
		14		40,41
		15		40,45
		16		35,73

Припуск на дальнейшую обработку, принимался 3,5 мм и 1,5 мм на тыльную.

Помимо пиломатериалов в поставе в пределах пласти бруса, вырабатываются попутные короткие пиломатериалы, длина которых представлена на Рисунках 3.6...3.8.

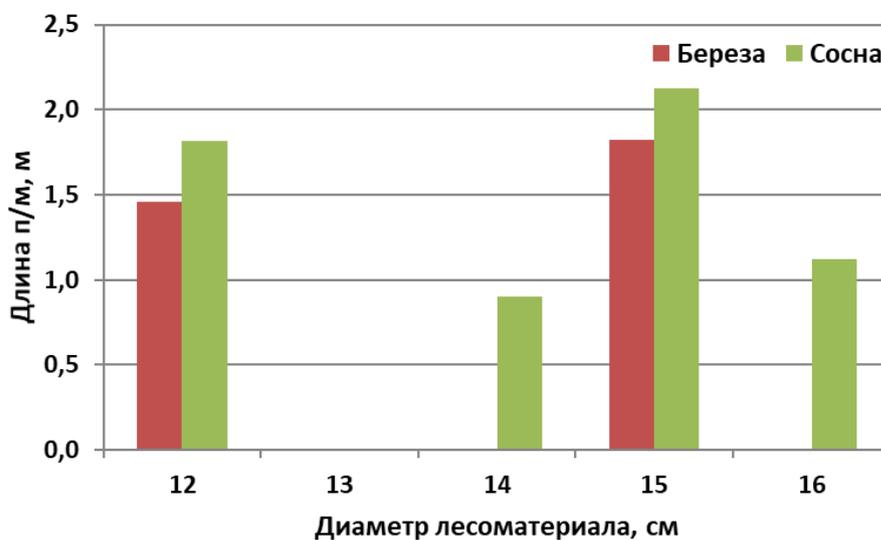


Рисунок 3.6 Длина коротких пиломатериалов толщиной 16 мм

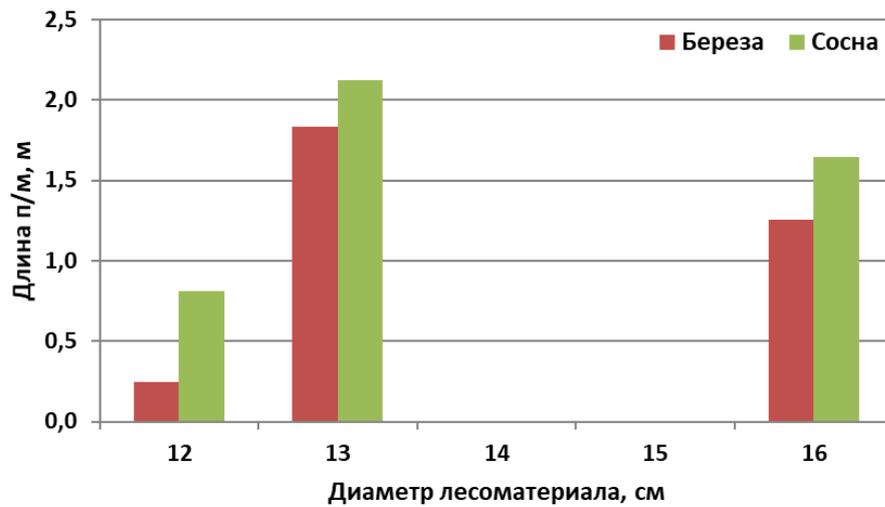


Рисунок 3.7 Длина коротких пиломатериалов толщиной 19 мм

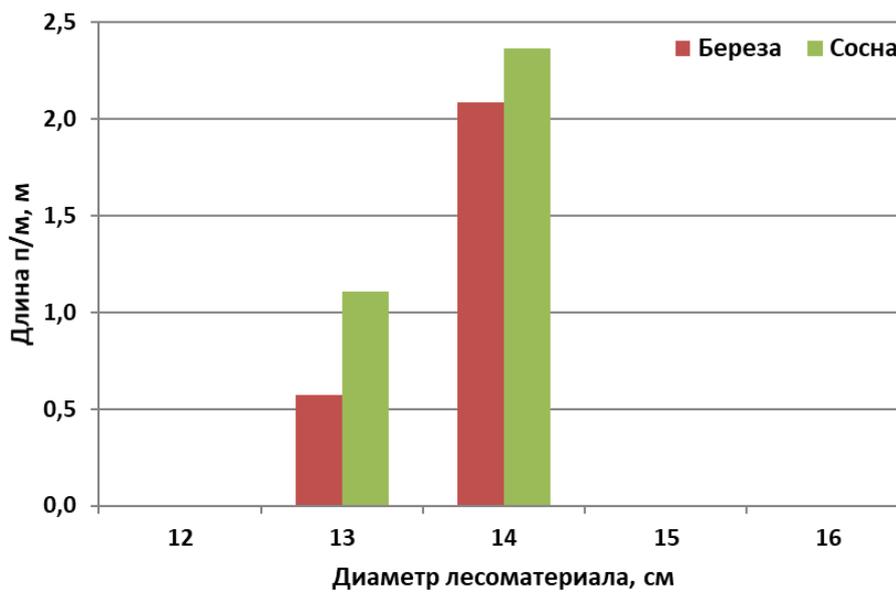


Рисунок 3.8 Длина коротких пиломатериалов толщиной 22 мм

### 3.3 Технология производства березовых тонких пиломатериалов

Мелкие круглые лесоматериалы в поперечном сечении имеют одну зону качества – зону здоровых сучков. Сортировка пиломатериалов по сортам или группам качества, из этих круглых лесоматериалов, значительно упрощается.

Обычно, мелкие круглые лесоматериалы используются на целлюлозо-бумажные комбинаты и предприятия по производству плит. В ряде случаев поставка мелких круглых лесоматериалов до данных предприятий становится экономически нецелесообразной из-за удаленности лесосеки. Количество лесопильно-деревообрабатывающих предприятий существенно больше и затраты на транспортировку меньше.

Мелкие круглые лесоматериалы до 10...13 см могут быть использованы для производства обрезных пиломатериалов, удовлетворяющие требования нормативно-технической документации [35, 58]. Пиломатериалы, полученные из тонких круглых лесоматериалов, по сравнению с пиломатериалами, полученные из средних и крупных лесоматериалов, имеют меньший диапазон по толщине, ширине и длине и не требуют крупных инвестиций в дорогостоящие линии по сортировке пиломатериалов [36].

Имитировался раскрой мелких круглых лесоматериалов с брусочкой, диаметром 10, 12 см, длиной 3 м на пиломатериалы одной толщины для каждого постава. Вырабатывались пиломатериалы толщиной 16, 19, 22, 25 мм.

Использование мелких круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов 3 м и менее способствует уменьшению размеров кривизны по кромке обрезных пиломатериалов.

Поставы составлялись с сердцевинной и центральными досками.

На основании компьютерного имитационного моделирования установлено, что:

1. Объемный выход березовых пиломатериалов с центральными досками из круглых лесоматериалов диаметром 10 и 12 см уменьшается с увеличением их толщины.

2. Наибольший объемный выход березовых пиломатериалов с сердцевинной доской из круглых лесоматериалов диаметром 10 см получают при толщине 19 и 22 мм.

3. Наибольший объемный выход березовых пиломатериалов с сердцевиной доской из круглых лесоматериалов диаметром 12 см получаются при толщине 22 и 25 мм.

4. Центральные доски толщиной 25 мм из круглого лесоматериала диаметром 10 см необходимо укорачивать по длине до 2,25 м, во избежание получения тупого обзола.

### **3.4 Оптимальная толщина двухкантного бруса при раскросе мелких круглых лесоматериалов**

Для производства пиломатериалов возможно использование круглых лесоматериалов  $d = 10 \dots 13$  см. При распиловке с брусовкой тонких круглых лесоматериалов должны получаться пиломатериалы в соответствии с требованиями ГОСТ 24454-80 [17]. При распиловке с брусовкой предусматривается получение не менее двух обрезных досок в пределах пласти двухкантного бруса. С целью исключения операции обрезки досок, толщина двухкантного бруса принимается в диапазоне (0,75...0,875) диаметра круглого лесоматериала.

Длину круглых сортиментов целесообразно принимать 3 метра. Это связано с тем, что камеры для сушки пиломатериалов имеют фронтальную загрузку для пиломатериалов не более 6,5 м [49]. С учетом данных требований возможно устанавливать вместо сушильного штабеля длиной 6...6,5 м два длиной 3 м.

Увеличение длины мелких круглых лесоматериалов приведет к получению коротких необрезных досок, что потребует выполнение дополнительного объема работ по их торцовке, обрезке и сортировке.

С учетом действующих нормативных ограничений на размеры пиломатериалов возможно получить из круглых лесоматериалов двухкантные брусья (бруски) толщиной 75 мм, 100 мм. Исходя из ширины пласти двухкантных брусьев, можно получать доски толщиной 16, 19, 22, 25 мм.

Объемный выход обрезных пиломатериалов при одинаковой толщине двухкантного бруса зависит от толщины пиломатериалов, включенных в постав. В этом

случае можно выделить оптимальные размеры двухкантных брусьев при определенной толщине пиломатериалов, обеспечивающих наибольший объемный выход по сравнению с получением из этого двухкантного бруса пиломатериалов других размеров по толщине.

При базировании круглого лесоматериала возможно отклонение продольной оси круглого материала относительно центра постава. В результате размеры пластей по ширине двухкантного бруса получаются неодинаковые. Распределение узкой пласти по ширине двухкантного бруса создает неодинаковые условия для обрезных пиломатериалов разной толщины.

С увеличением толщины досок до определенного предела объемный выход будет увеличиваться. Дальнейшее увеличение размеров толщины досок приведет к появлению обзола, с последующей торцовкой досок для его удаления и, соответственно, к уменьшению объемного выхода.

Нахождение распределения размеров ширины пласти двухкантного бруса при смещении круглого лесоматериала от центра постава позволит определить толщину обрезных пиломатериалов, обеспечивающую наибольший объемный выход обрезных пиломатериалов.

Мелкие круглые лесоматериалы обычно направляются на переработку на целлюлозно-бумажные комбинаты и предприятия по производству плит. Расстояние от этих предприятий до мест лесозаготовок в ряде случаев делает поставки мелких круглых лесоматериалов экономически невыгодным. Количество лесопильно-деревоперерабатывающих предприятий значительно больше и затраты на транспортировку будут ниже.

Мелкие круглые лесоматериалы по сравнению со средними и крупными по качеству древесины более однородны. Так, в средних и крупных лесоматериалах может быть до трех зон качества: зона здоровых сросшихся сучков; зона отмерших, чаще всего загнивших сучков; бессучковая или малосучковая зона [86].

Наличие этих зон в средних и крупных круглых лесоматериалах требует достаточно высокой дробности сортировки для получения групп пиломатериалов од-

народных по качеству. Размеры пиломатериалов по толщине, ширине и длине изменяются в широком диапазоне, что требует сложных и дорогостоящих линий по сортировке пиломатериалов.

Мелкие круглые лесоматериалы диаметром 10...13 см могут быть использованы для производства обрезных пиломатериалов, удовлетворяющие требования действующей нормативно-технической документации [15].

Расчетный объемный выход обрезных пиломатериалов из круглых лесоматериалов диаметром 12 см и длиной 3 м при раскросе с брусковкой по поставу:

$$1 \text{ проход } \frac{100}{1};$$

$$2 \text{ проход } \frac{16}{2} - \frac{16}{2}$$

представлен в Таблице 19.

Таблица 19

Расчетный объемный выход обрезных пиломатериалов из круглых пиломатериалов диаметром 12 см, длиной 3м

Диаметр бревна, d, см	Длина бревна, L, м	Объем бревна, V, м <sup>3</sup>	Количество досок, n, шт	Толщина досок, t <sub>д</sub> , мм	Расход ширины полупостава до пласти, Е, мм	Расстояние от оси постава до пласти, а, мм	Фактическая ширина доски, b <sub>ф</sub> , мм	Фактическая длина доски, l <sub>ф</sub> , м	Объем одной доски, V <sub>д</sub> , м <sup>3</sup>	Общий объем досок, V <sub>общ</sub> , м <sup>3</sup>	Общий расчетный объемный выход пиломатериалов, P, %	Общий фактический объемный выход пиломатериалов, P <sub>ф</sub> , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	3	0,039	1	100	51,3	51,3	62,4	3				
			2	16	18,6	18,6	100	3	0,0048	0,0096	24,01	21,61
			2	16	20,6	39,2	100	1,25	0,002	0,004	10,00	9,00
Итого										0,0136	34,02	30,62

Обрезные пиломатериалы получают одной толщины – 16 мм и одной ширины – 100 мм, что не требует их сортировки по этим размерным параметрам, а также не требуется операция обрезки пиломатериалов по ширине, так как боковых пиломатериалов в первом проходе не получается, а во втором проходе для боковых пиломатериалов, получаемых из бруса, достаточно операции торцовки.

### **3.5 Выводы по главе 3**

Исключение обрезки пиломатериалов и их сортировки по толщине, ширине делает возможным существенно упростить процесс производства обрезных пиломатериалов, получаемых из мелких круглых лесоматериалов диаметром 10...13 см и пересмотреть состав оборудования на линии переработки и участке сортировки пиломатериалов.

## **ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕРЕЗОВЫХ СРЕДНИХ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК**

### **4.1 Влияние ложного ядра берёзы на объёмный выход ламелей из заболонной зоны для клеёного щита**

Анализ работ по исследованию ложного ядра и заболонной зоны здоровой древесины берёзы [78, 96, 105, 108, 113, 115, 120, 121, 122,] подтвердил, что древесина из зоны ложного ядра практически не отличается по физико-механическим характеристикам от заболонной зоны. Отличие – в цвете древесины. Сочетание ламелей из древесины ложного ядра и ламелей из заболонной зоны на лицевой поверхности клееного щита резко сокращают спрос на этот материал, причина – неравномерность цвета.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- выбор оптимального варианта раскроя березовых пиломатериалов на ламели из заболонной зоны;
- обоснование допустимой величины обзола в пиломатериалах для производства ламелей из заболонной зоны.

Одним из путей решения задачи эффективной переработки древесины берёзы может быть изменение схемы обрезки пиломатериалов в лесопильном цехе с оставлением в верхней части доски тупого обзола, параметры которого превышают требования действующих стандартов. Такие пиломатериалы возможно использовать при производстве мебельного щита.

В настоящее время прослеживается устойчивая тенденция спроса на клееный щит, полученный из ламелей заболонной зоны. Это существенно повысить технико-экономические показатели производств, применяющих древесину берёзы при изготовлении клееного щитов.

Объемный выход ламелей из заболонной зоны можно повысить за счет использования пиломатериалов с обзолом, так как при этом увеличивается ширина доски, а, следовательно, и заболонной зоны [33].

В ранее выполненной работе [31] выдвигалась гипотеза о значительном росте объемного выхода обрезных пиломатериалов из необрезных за счет увеличения использования сбеговой зоны путем уменьшения по толщине при обрезке пропиленной части кромки.

Для проверки этой гипотезы круглые лесоматериалы диаметром 14...20 см раскраивали вразвал и с брусочкой на обрезные пиломатериалы стандартных размеров, обрезные пиломатериалы свободной ширины и длины, обрезные пиломатериалы стандартных размеров с обзолом, пропиленная кромка в которых составляла 5 мм, обрезные пиломатериалы с обзолом свободной длины и ширины. Толщина всех пиломатериалов – 25 мм. Размеры пиломатериалов определялись при влажности 5...7 %.

При раскросе березовых пиломатериалов для клееного щита получают ламели из заболонной зоны и с лицевой поверхностью в заболонной зоне.

Заболонная зона в березовых круглых лесоматериалах диаметром от 14 до 20 см варьирует в диапазоне 40...70 мм.

Методами компьютерного и имитационного моделирования выполнены исследования параметров ложного ядра при производстве заготовок. Раскрой круглых лесоматериалов на пиломатериалы и пиломатериалов на ламели был имитирован в компьютерной программе «SolidWorks» и в системе автоматизированного проектирования и черчения «Компас-3D». Расчетные данные объемного выхода ламелей получены с использованием программы «Excel» [34].

Производство ламелей только заданной ширины приводит к уменьшению объемного выхода из-за некратности ширины ламелей ширине заболонной зоны.

Для определения объемного выхода ламелей требуется определить размер заболонной зоны в березовых круглых лесоматериалах как разность между диаметром круглых лесоматериалов и диаметром ложного ядра по Формуле 4.1:

$$B = \frac{D - D_{\text{л.я.}}}{2}, \quad (4.1)$$

где  $B$  – ширина заболонной зоны, мм;  $D$  – диаметр бревна в комле, мм;  $D_{\text{л.я.}}$  – диаметр ложного ядра в комле, мм.

Для решения этих задач необходимо рассчитать диаметр ложного ядра (Рисунок 4.1) в заданном диапазоне круглых лесоматериалов.

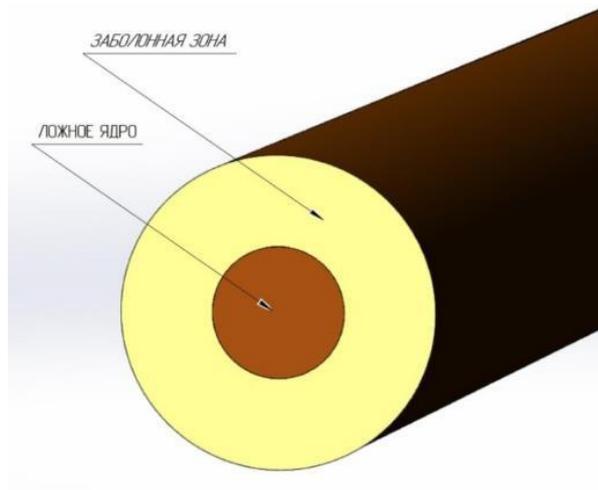


Рисунок 4.1 Расположение ложного ядра по сечению бревна

Прослеживается зависимость диаметра ложного ядра от диаметра бревна в комле [4, 40, 61], которая выражается Формулой 4.2:

$$D_{\text{л.я.}} = 0,032 + 0,417D_{\text{к}}, \quad (4.2)$$

где  $D_{\text{к}}$  – диаметр бревна в комле, см.

Принимаем сбег ложного ядра равным сбегу бревна  $S = 1$  см/м, тогда диаметр ложного ядра в верхнем отрезе ( $d_{\text{л.я.}}$ ) рассчитывается по Формуле 4.3.

$$d_{\text{л.я.}} = D_{\text{л.я.}} - S L, \quad (4.3)$$

где  $L$  – длина бревна, м.

Ширина ложного ядра на пласти центральной доски определяется с использованием Формул 4.4...4.7:

$$b_1 = \sqrt{d_{\text{л.я.}}^2 - 4\left(\frac{t_{\text{пр}}}{2}\right)^2}; \quad (4.4)$$

$$B_1 = \sqrt{D_{\text{л.я}}^2 - 4\left(\frac{t_{\text{пр}}}{2}\right)^2}; \quad (4.5)$$

$$b_2 = \sqrt{d_{\text{л.я}}^2 - 4 * a_1^2}; \quad (4.6)$$

$$B_2 = \sqrt{D_{\text{л.я}}^2 - 4 * a_1^2}, \quad (4.7)$$

где  $b_1$  и  $b_2$  – ширина ложного ядра на внутренней и внешней пласти центральной доски в верхнем отрезе, мм;  $B_1$  и  $B_2$  – ширина ложного ядра на внутренней и внешней пласти центральной доски в комле, мм;  $t_{\text{пр}}$  – ширина пропила, мм;  $a_1$  – расстояние от продольной оси поставы до внешней пласти доски, мм.

В Таблице 20 приведены размеры ложного ядра для березового бревна диаметром  $d = 20$  см,  $L = 4$  м.

Таблица 20

## Диаметр ложного ядра

Параметр	Значение параметра
Диаметр ложного ядра, см	
в комле	10,04
в верхнем отрезе	6,04
Размер заболонной зоны древесины, см	13,96

В Таблице 21 представлены размеры ложного ядра для березового бревна диаметром  $d = 20$  см,  $L = 4$  м на пластьях центральных обрешных досок по порядку их нумерации в поставе. Нумерация досок (1 – 7) в поставе показана на Рисунке 9. Толщина пиломатериалов 25 мм [39, 47].

Таблица 21

## Размеры ложного ядра в центральных досках

Параметр	Значение параметра для доски в поставе			
	вразвал		с брусом	
	1	2	5	6
Длина ложного ядра в доске, м:				
внутренней пласти	4	3,6	4	3,6
внешней пласти	4	0	4	–

Таблица 21 (продолжение)

Ширина ложного ядра в доске, мм:				
внутренней пласти в верхнем отрезе	60,29	0	60,29	–
внешней пласти в верхнем отрезе	19,40	–	19,40	–
внутренней пласти в комле	100,34	77,02	100,34	77,02
внешней пласти в комле	82,51	–	82,51	–

Следует учитывать, что объемный выход ламелей из пиломатериалов, получаемых при распиловке вразвал больше, чем при распиловке с брусковкой на 0,34...5,50 %.

Дальнейшую имитацию раскря бревна выполняли только для пиломатериалов, получаемых при распиловке вразвал.

Как видно из Табл. 4.4, длина ложного ядра на внешней пласти в доске 2 равна 0. Это следствие того, что ложное ядро не доходит до внешней пласти данной доски. Кроме того, в доске 2 ложное ядро во внутренней пласти не доходит и до верхнего отрезе. В досках 3, 4, 7 ложное ядро полностью отсутствует.

Известно, что размер заболонной зоны уменьшается при переработке необрезных пиломатериалов в обрезные и зависит от величины использования сбеговой зоны [3, 87, 90].

На Рисунке 4.2 представлена первая пара досок, полученная при распиловке вразвал, в которых ложное ядро выходит на обе пласти доски.

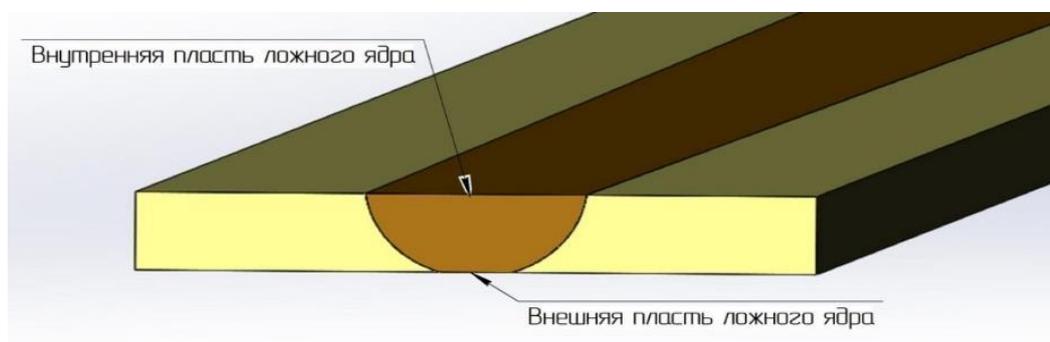


Рисунок 4.2 Расположение ложного ядра в первой паре досок

Расположение ложного ядра во второй паре досок имеет 2 варианта (Рис. 4.3).

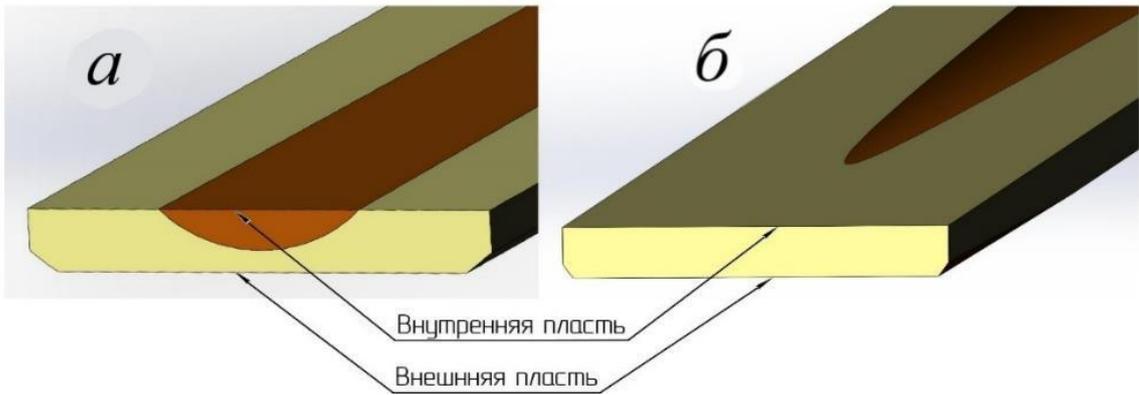


Рисунок 4.3 Расположения ложного ядра во второй паре досок при распиловке вразвал: *a* – ложное ядро доходит до верхнего торца пиломатериала; *б* – ложное ядро не доходит до верхнего торца пиломатериала

Для центральных досок методом компьютерного имитационного моделирования определен объемный выход ламелей по двум вариантам (Рис. 4.4).

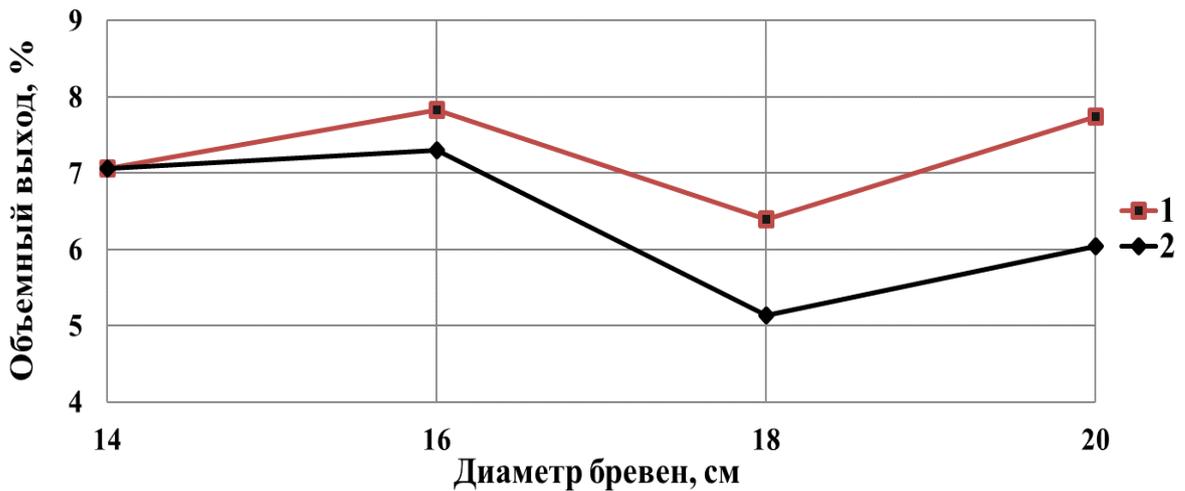


Рисунок 4.4 Объемный выход ламелей из заболонной зоны в центральных досках относительно объема бревна без удаления недопускаемых пороков: 1 – объемный выход ламелей свободной ширины; 2 – объемный выход ламелей шириной 40 мм

Из бревен  $d = 14$  см объемный выход ламелей свободной ширины в центральных досках заболонной зоны не увеличивается по сравнению с объемным выходом ламелей шириной 40 мм.

С увеличением диаметра бревна объемный выход ламелей свободной ширины из заболонной зоны увеличивается: из бревен  $d = 16$  см – на 0,53 %, из бревен

$d = 18$  см – 1,25 %, из бревен  $d = 20$  см – 1,71 %. Раскрой пиломатериалов производился на ламели свободной ширины.

Из Рисунка 4.5, видно, что обрезные доски раскраиваются поперечно-продольным способом. Следует учитывать, что при формировании щита с ламелями свободной ширины отсутствует возможность дальнейшего их склеивания по длине [38, 56]. Все ламели раскраивали на длину 1 метр.

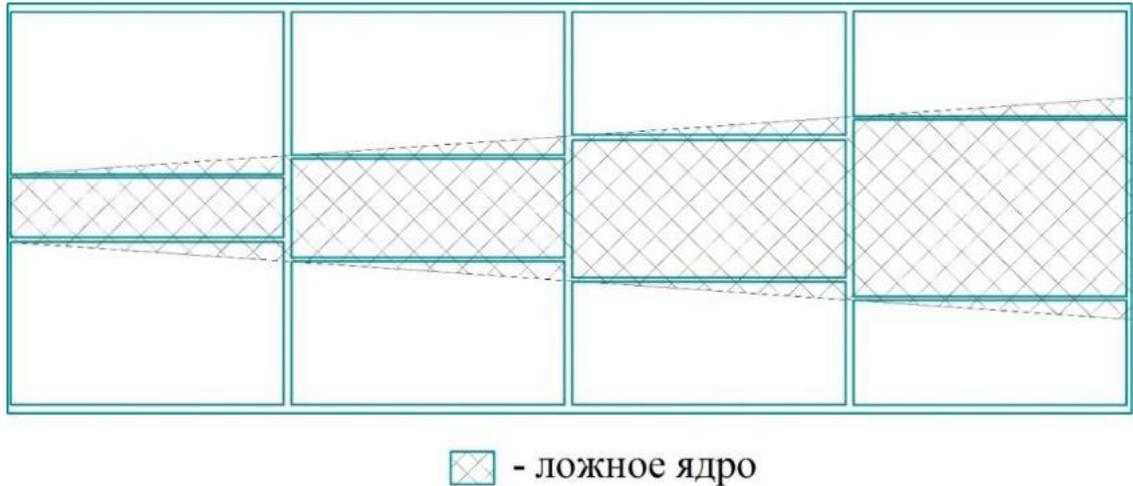


Рисунок 4.5 Схема раскроя на ламели свободной ширины

В Таблице 21 проанализирован объемный выход ламелей заданной и свободной ширины из заболонной зоны и зоны ложного ядра.

Таблица 21

Объемный выход ламелей заданной и свободной ширины в центральных досках ( $L = 4$  м, вразвал) при разном диаметре бревна  $d$  без удаления не допускаемых пороков

Параметр	Значение параметра
Центральные доски $d = 20$ см	
Ширины получаемых ламелей, мм	40; 50; 55; 97 лож.; 77 лож.; 67 лож.
Объем ламелей, $m^3$ :	
с ложным ядром	0,016870
из заболонной зоны	0,018500
Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, %	14,86

Таблица 21 (продолжение)

Центральные доски $d = 18$ см	
Ширины получаемых ламелей, мм	40; 45; 50; 68 лож.; 78 лож.; 58 лож.
Объем ламелей, $m^3$ : с ложным ядром	0,018134
из заболонной зоны	0,013500
Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, %	16,16
Центральные доски $d = 16$ см	
Ширины получаемых ламелей, мм	40; 45; 50 лож.; 49 лож.; 59 лож.
Объем ламелей, $m^3$ : с ложным ядром	0,015394
из заболонной зоны	0,012500
Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, %	17,80
Центральные доски $d = 14$ см	
Ширины получаемых ламелей, мм	40; 70 лож.; 55 лож.; 41 лож.
Объем ламелей, $m^3$ : с ложным ядром	0,020786
из заболонной зоны	0,004000
Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, %	21,26

В таблице 22 приведен объемный выход ламелей в центральных досках из заболонной зоны и зоны ложного ядра в процентах от объема бревна без удаления не допускаемых пороков.

Таблица 22

Объемный выход ламелей в центральных досках ( $L = 4$  м, вразвал) при разном диаметре бревна  $d$  из заболонной зоны и зоны ложного ядра без удаления не допускаемых пороков

Диаметр бревна	Объемный выход ламелей, %		
	Из древесины ложного ядра	С частичным содержанием ложного ядра	Из заболонной зоны
20 см	7,12	0	7,74

Таблица 22 (продолжение)

18 см	7,62	2,15	6,39
16 см	6,88	3,09	7,83
14 см	3,99	10,21	7,06

Объемный выход ламелей свободной ширины из заболонной зоны в брёвнах  $d = 14$  см практически не изменился, по сравнению с  $d = 16$  см и составляет 16,81 %. Далее, с увеличением диаметра брёвен объёмный выход увеличивается до 25,55 % (Рис. 4.6).

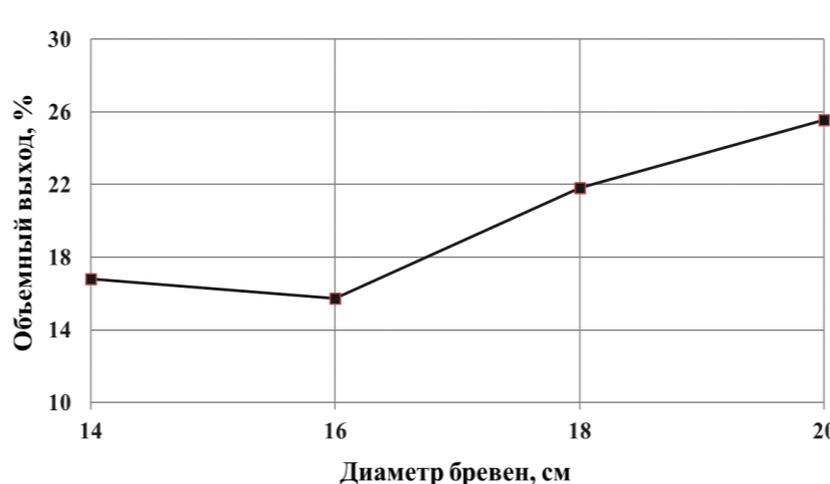


Рисунок 4.6 Объёмный выход ламелей свободной ширины без удаления не допускаемых пороков из заболонной зоны

Объёмный выход ламелей с лицевой поверхностью в заболонной зоне уменьшается с увеличением диаметра бревна в диапазоне от 13,46 % до 5,57 % от объёма бревна, не учитывая не допускаемые пороки (Рис. 4.7).

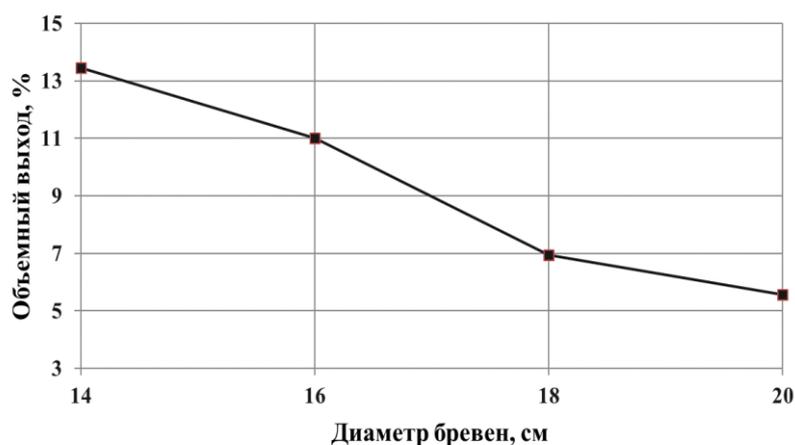


Рисунок 4.7 Объёмный выход ламелей свободной ширины без удаления не допускаемых пороков с лицевой поверхностью в заболонной зоне

Объёмный выход ламелей из древесины ложного ядра бревна диаметром 14 см является наименьшим и составляет 3,99 % от объёма бревна.

Далее, при уменьшении диаметра бревна, объёмный выход ламелей из древесины ложного ядра без удаления не допускаемых пороков изменится в диапазоне от 6,88 % до 7,62 % от объёма бревна (Рис. 4.8).

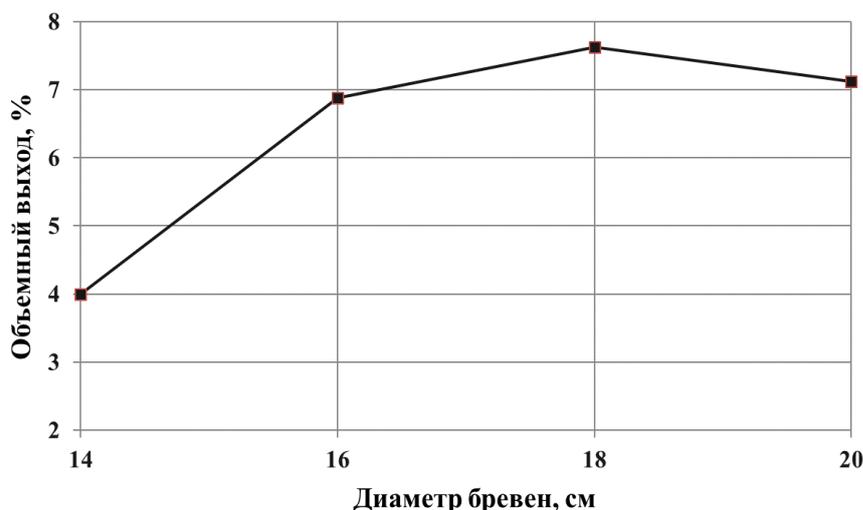


Рисунок 4.8 Объёмный выход ламелей свободной ширины без удаления не допускаемых пороков с лицевой поверхностью в заболонной зоне из древесины ложного ядра

В зависимости от количества сучков на поверхности бревна и от расстояния центра торца до наружной пласти, площадь сучков на пласти доски будет изменяться.

Площадь сучков на пласти доски в бревне не имеющий сучков на поверхности можно рассчитать по Формуле 4.8:

$$\gamma = 1,08 - 0,92 \frac{a}{R}, \quad (4.8)$$

где  $\gamma$  – площадь сучков на пласти доски, %;  $a$  – расстояние от центра торца бревна до наружной пласти доски, мм;  $R$  – радиус бревна в вершине.

Площадь сучков на пласти доски в бревне имеющий от 1 до 10 сучков на поверхности можно рассчитывается по Формуле 4.9.

$$\gamma = 1,60 - 0,95 \frac{a}{R}. \quad (4.9)$$

Площадь сучков на пласти доски в бревне имеющих от 11 до 20 сучков на поверхности можно рассчитывается по Формуле 4.10.

$$\gamma = 2,18 - 0,85 \frac{a}{R}. \quad (4.10)$$

Полученные данные сведены в Таблицу 24.

Таблица 24

Зависимость величины площади сучков от расстояния наружной пласти доски до центра торца бревна

Диаметр бревна, мм	Кол-во сучков, выходящих на поверх. бревна	Расстояние от центра торца, "а", мм	Расстояние от центра торца в долях верш. рад.	Площадь сучков "γ", %
140	бессучков.	28,6	2/5	0,704
		59	5/6	0,305
	от 1 до 10	28,6	2/5	1,212
		59	5/6	0,799
	от 11 до 20	28,6	2/5	1,833
		59	5/6	1,464
160	бессучков.	28,6	1/3	0,751
		59	3/4	0,402
	от 1 до 10	28,6	1/3	1,260
		59	3/4	0,899
	от 11 до 20	28,6	1/3	1,876
		59	3/4	1,553
180	бессучков.	28,6	1/3	0,788
		59	2/3	0,477
		89,4	1	0,166
	от 1 до 10	28,6	1/3	1,298
		59	2/3	0,977
		89,4	1	0,656
	от 11 до 20	28,6	1/3	1,910
		59	2/3	1,623
		89,4	1	1,336
200	бессучков.	28,6	2/7	0,817
		59	3/5	0,537
		89,4	8/9	0,258
	от 1 до 10	28,6	2/7	1,328
		59	3/5	1,040
		89,4	8/9	0,751

Таблица 24 (продолжение)

	от 11 до 20	28,6	2/7	1,937
		59	3/5	1,679
		89,4	8/9	1,420

#### 4.2 Влияние диаметра и сбега березовых круглых лесоматериалов на объемный выход обрезных пиломатериалов с обзолом

Доля круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов имеет тенденцию к сокращению, что позволяет повышать их качество. Средний диаметр круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов остаётся невысоким. Около 80 % сортиментов имеют диаметр 14...20 см [32]. Кроме того, в процессе раскря хлыста его части могут быть использованы на целлюлозно-бумажных комбинатах, плитных предприятиях и производствах пиломатериалов.

Производство обрезных пиломатериалов из таких сортиментов приводит к значительному количеству отходов в обзольные рейки и влиянию кривизны сортиментов и неkratности ширины необрезных пиломатериалов к ширине обрезных [62].

Одним из путей решения задачи эффективной переработки древесины берёзы, может быть изменение схемы обрезки пиломатериалов в лесопильном цехе с оставлением в верхней части доски тупого обзола, параметры которого превышают требования действующих стандартов, а также исключения градации по длине и ширине производимых пиломатериалов, предназначенных для внутризаводской переработки [32].

В качестве примера принят круглый лесоматериал диаметром 14 см. Имитировался раскрой пиломатериалов толщиной 19 мм, 25 мм вразвал и с брусковкой на обрезные пиломатериалы, обрезные с обзолом, обрезные с обзолом без градации по длине и ширине при сбегае в диапазоне 0,4...1,0 см/м.

Для анализа полученных данных построены диаграммы объемного выхода пиломатериалов толщиной 25 и 19 мм на примере круглого лесоматериала диаметром 14 см (Рис. 4.9) и 16 см (Рис. 4.10).

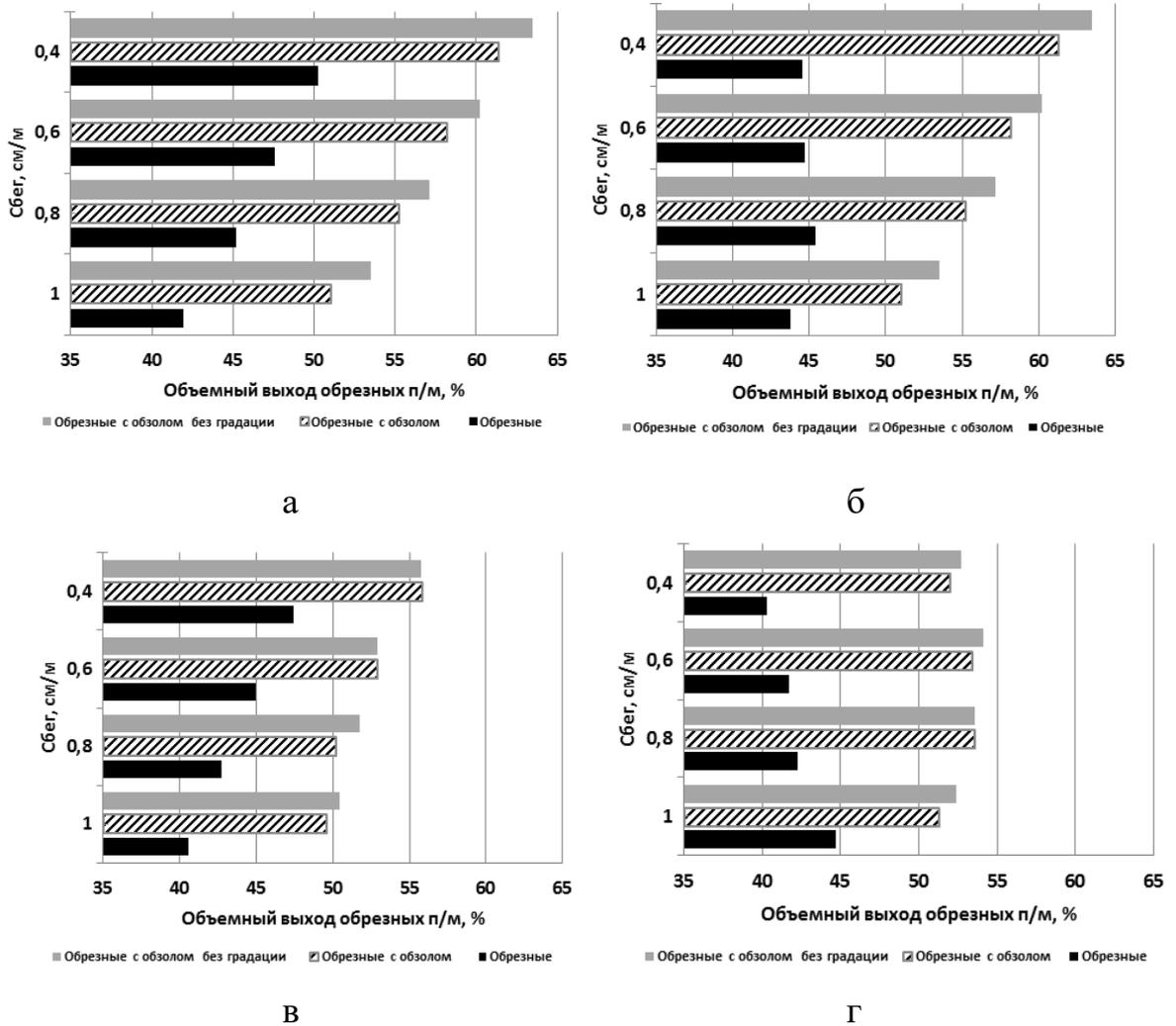
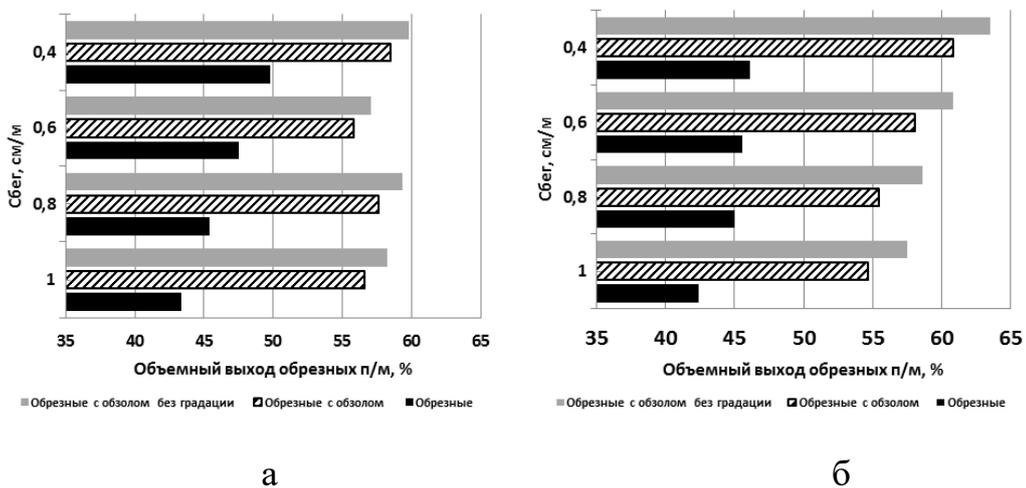


Рисунок 4.9 Объемный выход обрезных пиломатериалов из круглого лесоматериала диаметром 14 см: а - толщиной 25 мм вразвал; б - толщиной 19 мм вразвал; в - толщиной 25 мм с брусовкой; г - толщиной 19 мм с брусовкой



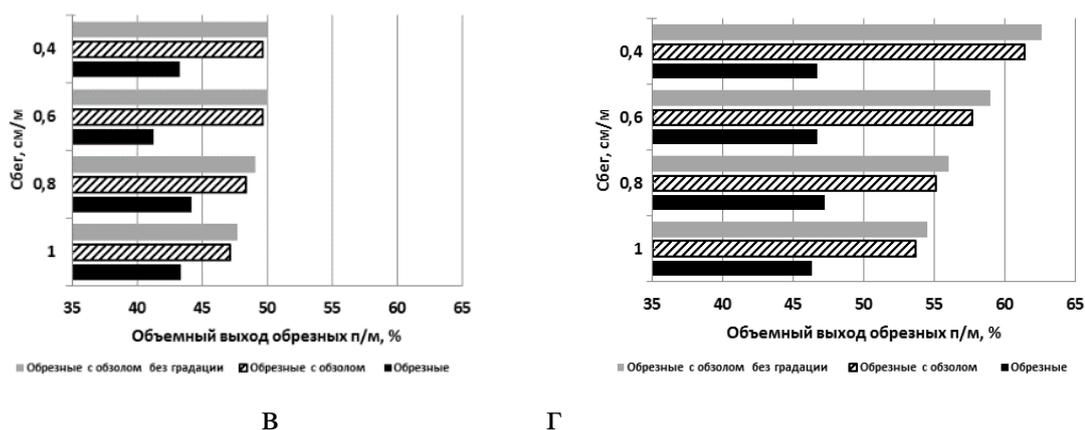


Рисунок 4.10 Объемный выход обрезных пиломатериалов из круглого лесоматериала диаметром 16 см: а - толщиной 25 мм вразвал; б - толщиной 19 мм вразвал; в - толщиной 25 мм с брусовкой; г - толщиной 19 мм с брусовкой

#### Результаты расчетов:

– увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам свободной длины и ширины при распиловке вразвал с изменением диаметра от 14 до 16 см составило 4,70 %; 5,56 %;

– уменьшение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам свободной длины и ширины при распиловке с брусовкой с изменением диаметра от 14 до 16 см составило 2,78 %; 2,44 %;

– увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке вразвал, с изменением сбega с 0,4 до 1 см/м составило 9,99 %; 10,35 % из круглых лесоматериалов диаметром 14 см;

– увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрез-

ных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке с брусковой, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 5,33 %; 6,21 % из круглых лесоматериалов диаметром 14 см;

– увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке вразвал, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 1,62 %; 1,88 % из круглых лесоматериалов диаметром 16 см;

– увеличение объемного выхода обрезных пиломатериалов с обзолом толщиной 25 мм свободной длины и ширины по сравнению с объемным выходом обрезных пиломатериалов с обзолом по действующим стандартам при распиловке с брусковой, с изменением сбега с 0,4 до 1 см/м составило 2,27 %; 2,48 % из круглых лесоматериалов диаметром 16 см.

#### **4.3 Раскрой березовых круглых лесоматериалов на пиломатериалы с обзолом**

Берёзовые лесоматериалы пользуются спросом при производстве фанеры. При этом используется лучшая комлевая часть хлыста. Объёмный выход сортиментов для производства фанеры составляет 18...20 % от объёма берёзового хлыста. Из оставшейся части хлыста производятся сортименты для производства пиломатериалов. Их объём составляет 20...25 %. Доля сортиментов для производства пиломатериалов имеет тенденцию к сокращению, что позволяет повышать их качество. Средний диаметр круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов остаётся невысоким. Около 80 % сортиментов имеют диаметр 14...20 см.

Одним из путей решения задачи эффективной переработки древесины берёзы, может быть изменение схемы обрезки пиломатериалов в лесопильном цехе с оставлением в верхней части доски тупого обзола, параметры которого превышают требования действующих стандартов (Рис. 4.11). Такие пиломатериалы возможно использовать при производстве мебельного щита.

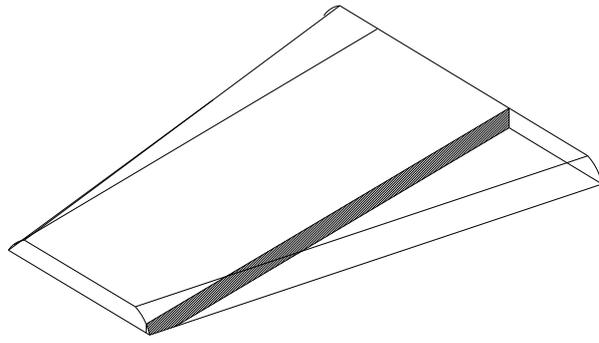


Рисунок 4.11 Схема раскроя необрезных пиломатериалов на обрезные

Отходы в обзолную и сбеговую рейку [3] показана на Рисунке 4.12 и можно определить по Формуле 4.11:

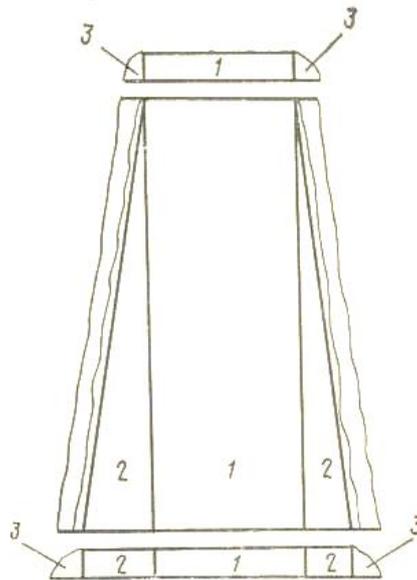


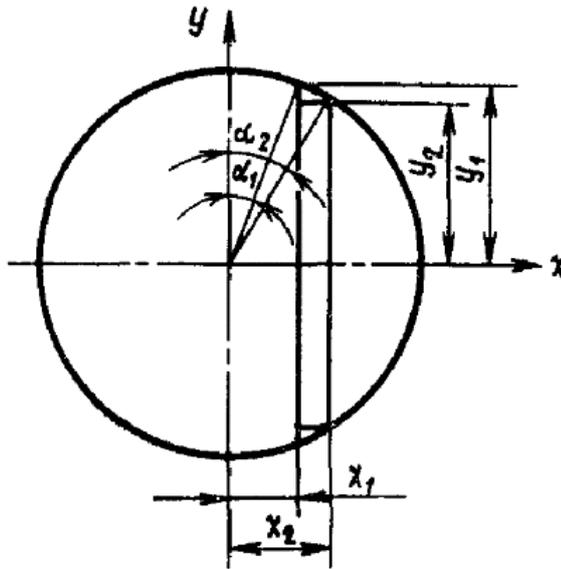
Рисунок 4.12 Схема раскроя необрезной доски на обрезную:

1 - обрезная доска; 2 - сбеговая рейка; 3 - обзолная рейка.

$$K_n = K_{обз} \times K_{сб}, \quad (4.11)$$

где  $K_{обз}$  - коэффициент, учитывающий отходы в обзолную рейку;  $K_{сб}$  - коэффициент, учитывающий отходы в сбеговую рейку;  $K_n$  - коэффициент, учитывающий отходы обзолные и сбеговые рейки.

Схема расчета коэффициента, учитывающего отходы в обзолную рейку показана на Рисунке 4.13 и рассчитывается по Формуле 4.12.

Рисунок 4.13 Схема расчёта  $K_{обз}$ 

$$K_{обз} = F_T / F_H = \frac{b_c(x_2 - x_1)}{2 \int_{x_2}^{x_1} y dx}, \quad (4.12)$$

где  $F_T$  - площадь поперечного сечения обрезной доски трапецеидального вида по пласти на середине длины;  $F_H$  - площадь поперечного сечения необрезной доски на середине длины;  $b_c$  - средняя ширина доски трапецеидального вида;  $r$  - радиус бревна;  $x_1$  - расстояние от оси до внутренней пласти доски, мм;  $x_2$  - расстояние от оси до наружной пласти доски, мм.

Коэффициент использования необрезных досок ( $K_{сб}$ ), который учитывает использование сбеговой зоны в зависимости от диаметра и сбега брёвен, местоположение досок в поставе по отношению к центру торца бревен и от количества заготовок, выражен Формулой 4.13:

$$K_{сб} = 1 - \frac{2 b_B}{2 b_H + Sl}, \quad (4.13)$$

где  $b_B$  - ширина наружной пласти доски в верхнем отрезе, мм;  $b_H$  - ширина наружной пласти доски в комле, мм;  $S$  - сбег, см/м;  $l$  - длина доски, м.

При разработке технологии производства параметры берёзовых пиломатериалов должны способствовать увеличению объёмного выхода ламелей для клеёного щита. Для этого следует решить следующие задачи:

1. Производить пиломатериалы обрезными – это позволит с меньшими затратами автоматизировать их сортировку и укладку в сушильные пакеты и, в дальнейшем, раскраивать на ламели. Улучшить заполнение сушильных камер, сократить затраты живого труда [63].

2. Увеличить объёмный выход ламелей из заболонной зоны, так клеёный щит, включающий ложное ядро, в настоящее время пользуется меньшим спросом и цена на него существенно ниже [39, 42, 91].

Две поставленные задачи имеют противоречия. Производство обрезных пиломатериалов уменьшает размер заболонной зоны в пиломатериалах, а при производстве клеёного щита требуется её увеличение.

В связи с этим требуется подтверждение гипотеза о значительном увеличении объёмного выхода обрезных пиломатериалов из необрезных за счёт увеличения использования сбеговой зоны путём уменьшения по толщине при обрезке пропиленной части кромки [47, 97, 98, 114, 116, 127]. Для проверки этой гипотезы круглые лесоматериалы диаметром 14...20 см раскраивались вразвал и с брусковкой на обрезные пиломатериалы стандартных размеров [70], обрезные пиломатериалы свободной ширины и длины, обрезные пиломатериалы стандартных размеров с обзолом пропиленная кромка в которых составляла 5мм, обрезные пиломатериалы с обзолом свободной длины и ширины. Толщина всех пиломатериалов – 25 мм. Размеры пиломатериалов определялись для влажности 5-7 %.

На Рисунке 4.14 представлены нумерация досок в поставах при распиловке вразвал и брусковкой.

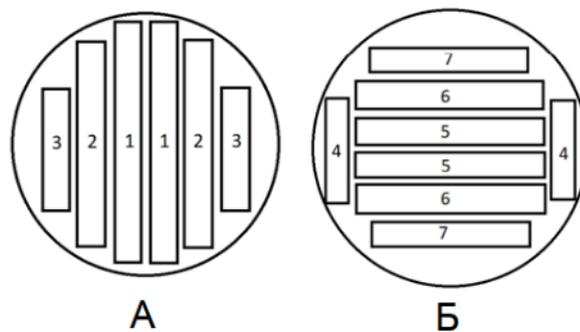


Рисунок 4.14 Нумерация досок в поставах: А – способ раскря вразвал; Б – способ раскря с брусковкой

Форма доски с тупым обзолом представлена на Рисунке 4.15.

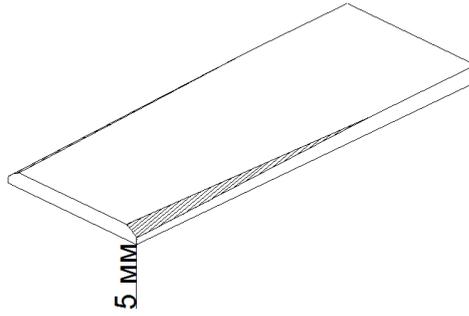


Рисунок 4.15 Форма доски с тупым обзолом

Результаты компьютерного имитационного моделирования по определению объемного выхода в пиломатериалах в зависимости от расположения в поставе и способа распиловки представлены на Рисунках 4.18...4.25.

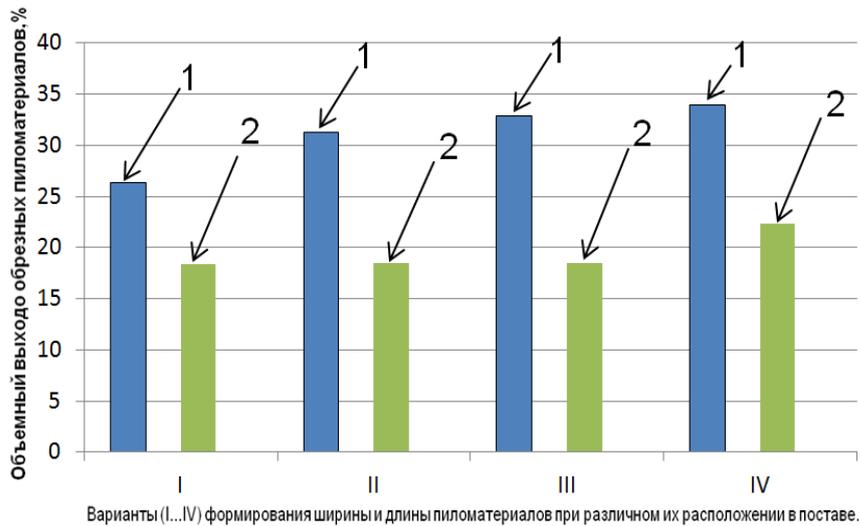


Рисунок 4.18 Способ раскроя вразвал  $d = 14$  см: 1 – центральные доски; 2 – первая пара боковых досок

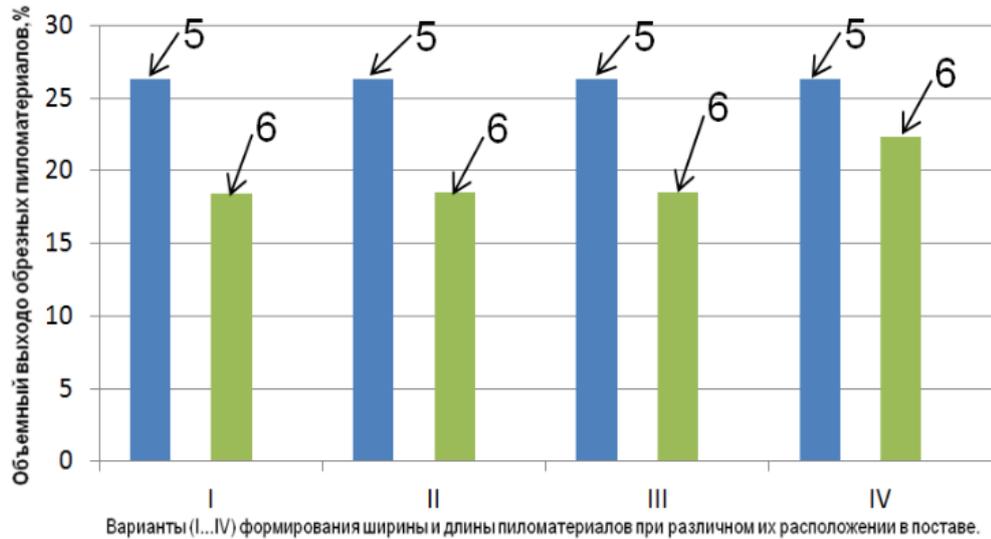


Рисунок 4.19 Способ раскроя с брусковкой  $d=14$  см

Распиловка с брусковкой, на первом проходе боковые доски отсутствуют, второй проход: 5 – центральные доски: 6 – первая пара боковых досок.

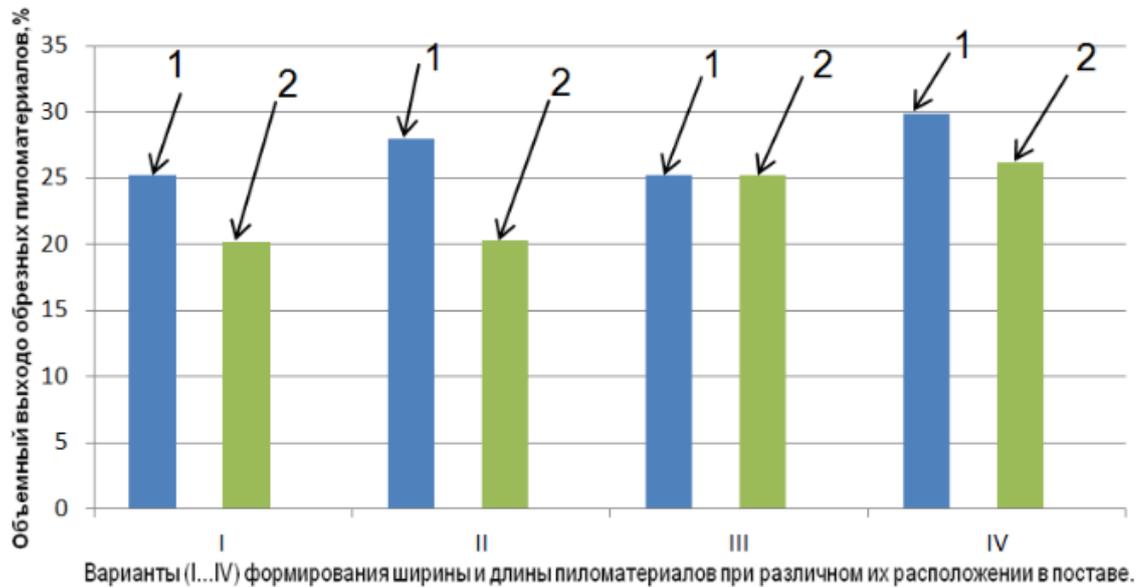


Рисунок 4.20 Способ раскроя вразвал  $d=16$  см

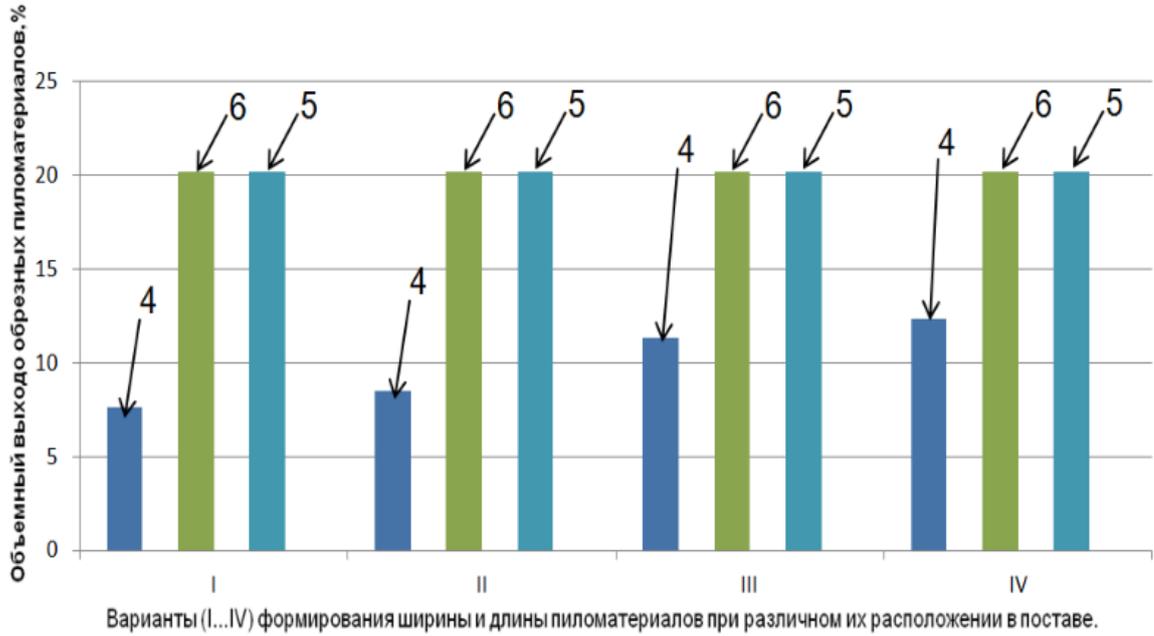


Рисунок 4.21 Способ раскроя с брусковкой  $d=16\text{см}$

В первом проходе: 4 – первая пара боковых досок.

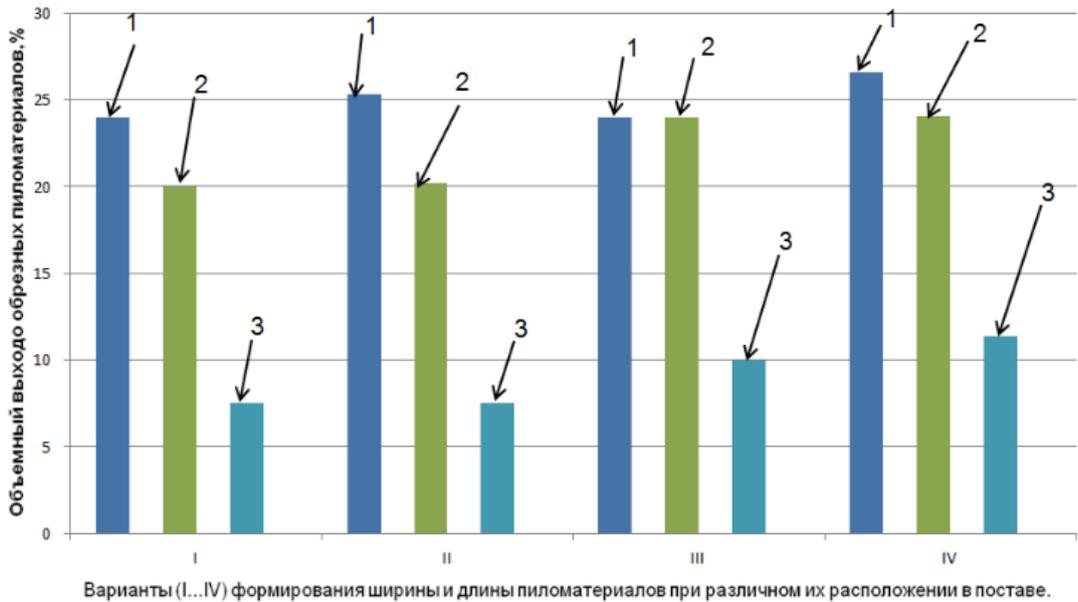


Рисунок 4.22 Способ раскроя вразвал  $d=18\text{ см}$ ; 3 – вторая пара боковых досок

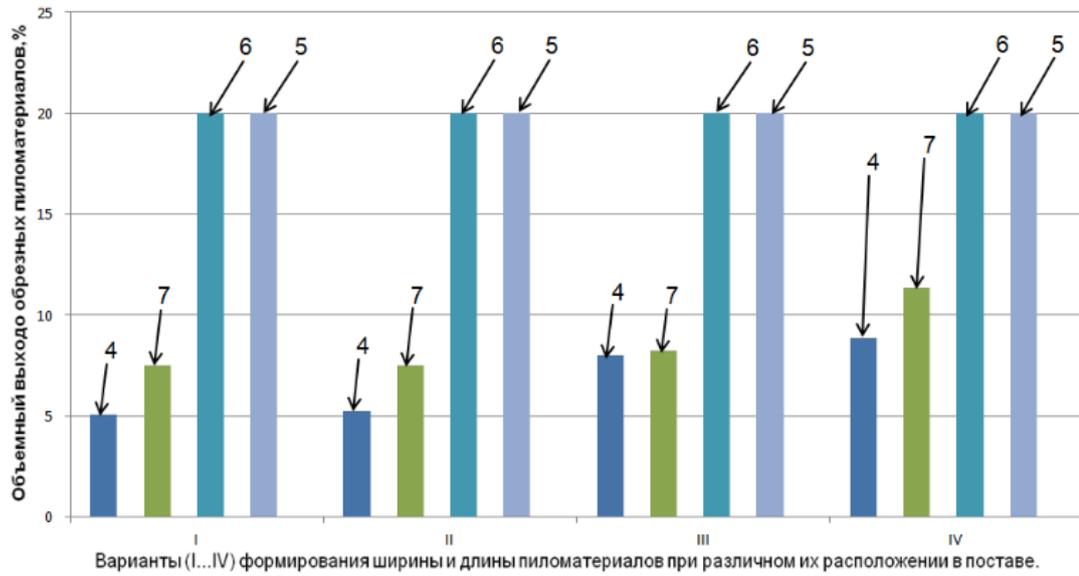


Рисунок 4.23 Способ раскроя с брусочкой  $d=18$  см; во втором проходе: 7 – вторая пара боковых досок

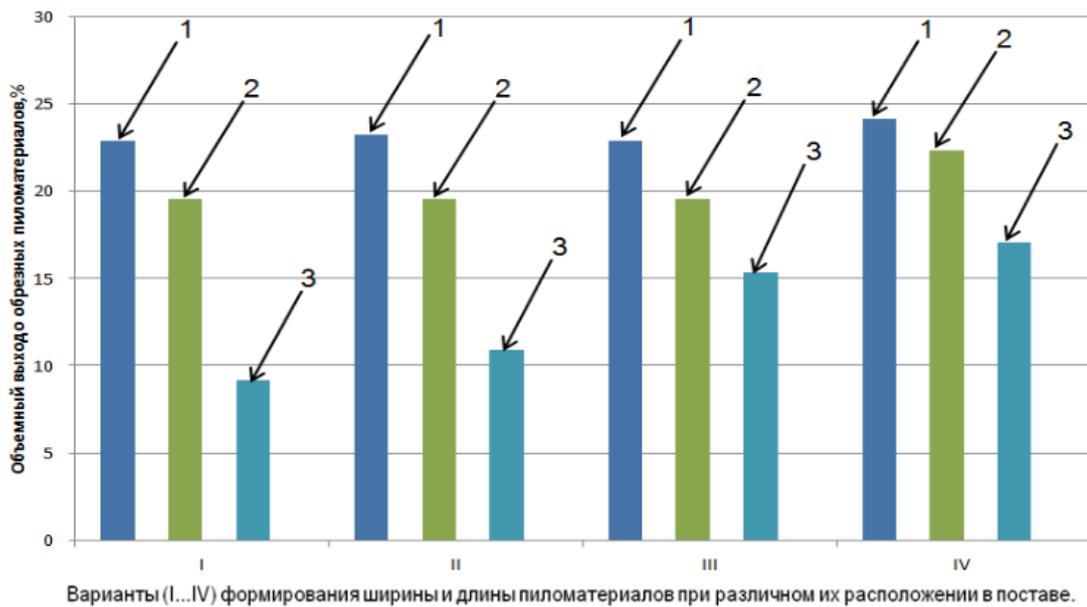


Рисунок 4.24 Способ раскроя вразвал  $d=20$  см

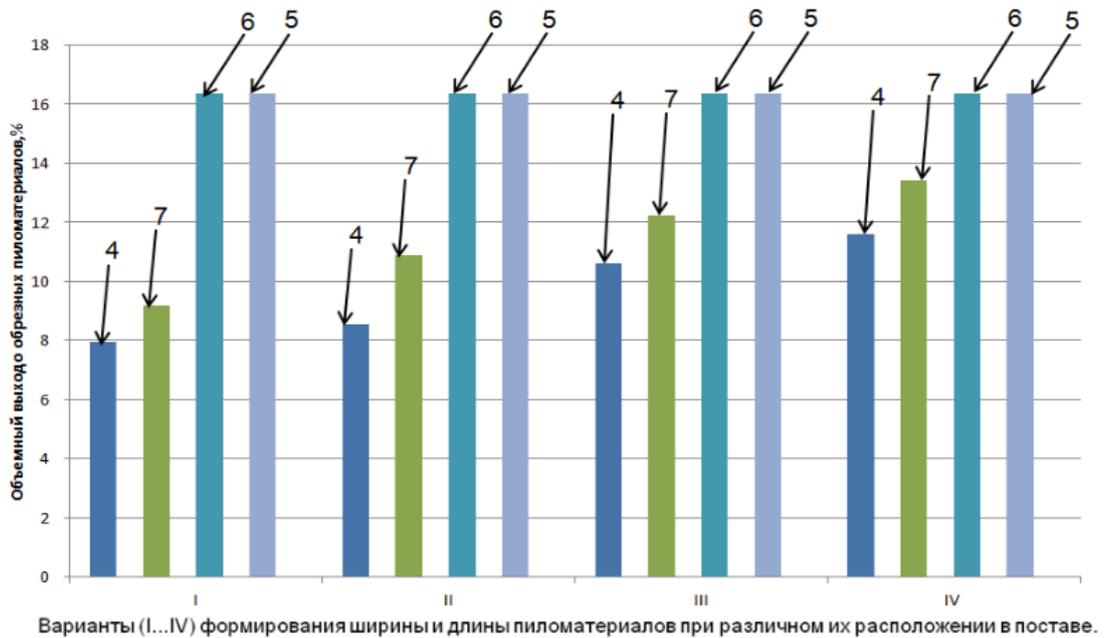


Рисунок 4.25 Способ раскря с брусковкой  $d=20$  см

Результаты компьютерного имитационного моделирования по определению объёмного выхода обрезных пиломатериалов из берёзовых круглых лесоматериалов при распиловке вразвал и с брусковкой представлены в Таблице 25.

Таблица 25

Сравнение объёмного выхода пиломатериалов из берёзовых круглых лесоматериалов при различных способах раскря

№ П/П	Пиломат. по действующим стандартам, %	Пиломат. свободной длины и ширины, %	Пиломат. с большей величиной доп. обз., %	Пиломат. свободной длины и ширины с большей величиной доп. обз., %	Пиломат. по действующим стандартам, %	Пиломат. свободной длины и ширины, %	Пиломат. с большей величиной доп. обз., %	Пиломат. свободной длины и ширины с большей величиной доп. обз., %
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Способ раскря вразвал, $d = 14$ см				Способ раскря с брусковкой, $d = 14$ см				
1	44,79	49,66	51,36	56,24	44,72	44,79	44,79	48,66
Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам, %								

Таблица 25 (продолжение)

2	0,0	4,87	6,57	11,45	0,0	0,07	0,07	3,94
Способ раскря вразвал, d = 16 см					Способ раскря с брусочкой, d = 16 см			
3	45,47	48,27	50,52	55,97	48,06	48,27	51,78	55,97
Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам, %								
4	0,0	2,80	5,05	10,50	0,0	0,21	3,72	7,91
Способ раскря вразвал, d = 18 см					Способ раскря с брусочкой, d = 18 см			
5	51,50	53,03	58	62,05	52,56	52,75	56,25	60,23
Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам, %								
6	0,0	1,53	6,50	10,55	0,0	0,19	3,69	7,67
Способ раскря вразвал, d = 20 см					Способ раскря с брусочкой, d = 20 см			
7	51,63	53,66	57,75	63,52	49,79	52,05	55,51	57,66
Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам, %								
8	0,0	2,03	6,12	11,89	0,0	2,26	5,72	7,87

I - объёмный выход обрезных пиломатериалов стандартных размеров; II - объёмный выход обрезных пиломатериалов свободной ширины и длины; III - объёмный выход обрезных пиломатериалов стандартных размеров с обзолом; IV- объёмный выход обрезных пиломатериалов с обзолом свободной длины и ширины с обзолом.

Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам при распиловке вразвал представлены на Рисунке 4.26, при распиловке с брусочкой на Рисунке 4.27.

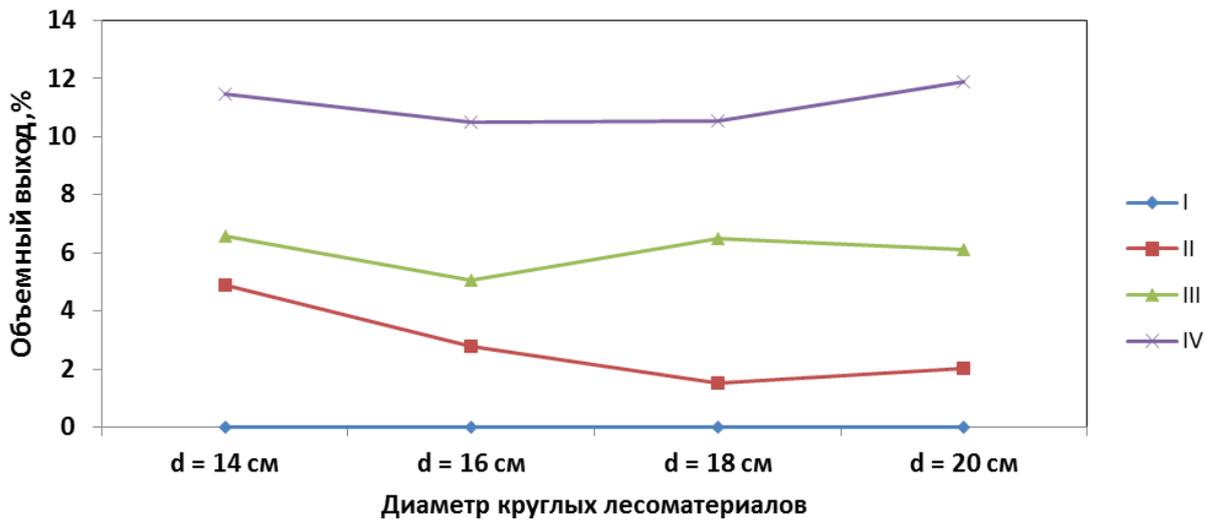


Рисунок 4.26 Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам при распиловке вразвал

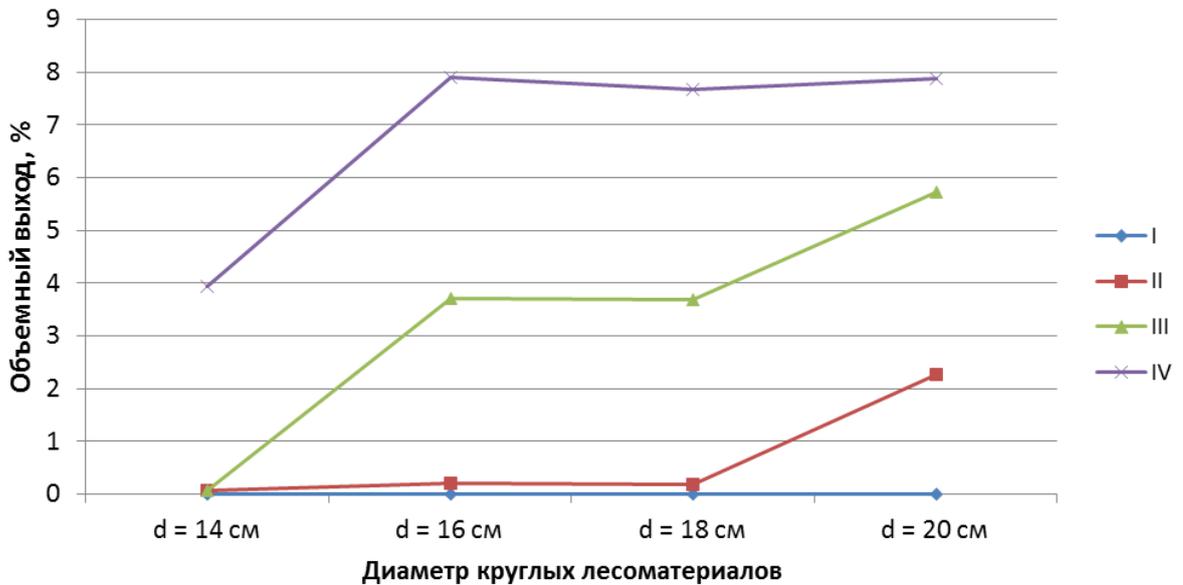


Рисунок 4.27 Увеличение объёмного выхода по сравнению с производством пиломатериалов по действующим стандартам при распиловке с брусковкой

#### 4.4 Оценка качества пиломатериалов с помощью имитационного моделирования в программе SolidWorks

На базе выполненных работ по разработке методики оценки качества пиломатериалов, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях с помощью имитационного моделирования.

Каждый вид пиломатериалов разделяется на сорта. Зависит такое разделение от наличия на поверхности либо в структуре изделий тех или иных пороков, негативно влияющих на прочностные характеристики и внешний вид, снижающих качество материала, ограничивающих сферу его использования. Сучок – самый часто встречающийся основной сортообразующий первичный порок древесины. По сути, собой представляет заключенное глубоко в древесину ствола основание ветки. Сучки могут быть разные, их разделяют по таким критериям: форма разреза (круглые, овальные, продолговатые), место расположения (пластевые, кромочные, ребровые, торцовые, сшивные). Сучки того или иного вида по-разному влияют на технические и декоративные качества пиломатериалов – чем их меньше, тем выше сорт изделия. Здоровые круглые сросшиеся сучки на качество практически не влияют – в некоторых случаях их наличие даже помогает добиться определённых дизайнерских целей. Естественно, что загнившие/выпадающие сучки сильно снижают прочностные характеристики, поэтому пиломатериалы с их наличием относят к самым низшим сортам, которые недопустимо использовать для несущих конструкций.

До сих пор определение качества пиломатериалов определялось путем исследования их визуально или с помощью дорогостоящего сканирующего оборудования.

Современные информационные технологии позволяют решить эту задачу путём имитационного моделирования в программе SolidWorks [88]. Программа позволяет решить комплекс задач, в том числе определение объема отходов и бездефектных участков.

В качестве примера служит березовая доска с размерами 32x175x3000 мм (Рис. 4.28) и сосновая с размерами 32x175x3000 мм (Рис. 4.29), сфотографированные на фотоаппарат Canon 600D в Щелковском учебно-опытном лесхозе Мытищинского филиала МГТУ Н.Э. Баумана.



Рисунок 4.28 Фотография березовой доски



Рисунок 4.29 – Фотография сосновой доски

Для создания объемной модели пиломатериала необходимо создать новый файл (деталь), выбрать эскиз на вкладке эскиз (Рис. 4.30).

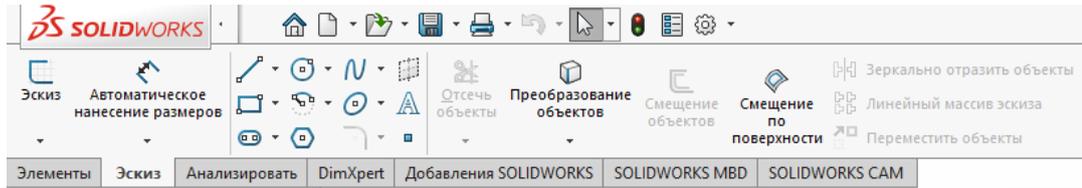


Рисунок 4.30 Вкладка эскиз

Далее необходимо выбирать команду на панели инструментов команду «прямоугольник по углам» и с использованием команды «автоматическое нанесение размеров» установить необходимую длину и ширину. Затем с использованием команды «вытянутая бобышка/основание» создать объемную модель нужной толщины. Нанесение сучков осуществляется с использованием команды «эллипс» или «окружность» на вкладке эскиз. Для нанесения сучков, выходящих на кромку, используется команда «неполный эллипс». Далее необходимо воспользоваться командой «вытянутый вырез» на вкладке «элементы», заполнение сучков производится с использованием команды «бобышка/основание по сечениям». Заполнение сучка, выходящего на кромку производится с использованием команд «преобразование объекта» + «вытянутая бобышка/основание».

При моделировании всех сучков с фотографий досок, по ГОСТ 2140-81 [16], получаем имитационную модель досок (Рис. 4.31, 4.32).



Рисунок 4.31 Имитационная модель березовой доски



Рисунок 4.32 Имитационная модель сосновой доски

Наибольший сучок на поверхности пиломатериала из древесины березы равен 28,92мм. Сучки такого размера допускаются для пиломатериалов второй группы по ГОСТ 2695-83 [18]. Всего сучков на пласти доски 12 штук, из них не учитывается 10.

Наибольший сучок на поверхности пиломатериала из древесины сосны равен 59,48 мм. Сучки такого размера допускаются для пиломатериалов третьей группы по ГОСТ 8486-86 [15]. Всего сучков на пласти доски 16 штук, из них не учитывается 6.

Программа позволяет также смоделировать раскрой пиломатериала на заготовки. Данные пиломатериалы предназначены для производства клеёного щита. Вследствие этого выбрано соответствующее ТУ предприятия ДОК «Пахра» [80]. Раскрой на заготовки в программе SolidWorks производится с помощью команд «прямоугольник по углам» на вкладке эскиз и «вытянутый вырез» на вкладке элементы. Согласно техническим условиям ламели под клеёный щит должны быть шириной от 38 до 45 мм [31, 33]. Выбрана ширина ламели 40мм и длина заготовок 1500 мм. В результате получим 8 ламелей шириной 40мм и две толщиной 0,6мм из березового пиломатериала (рис. 4.33) и 8 ламелей шириной 40мм и длиной 1500 мм из соснового пиломатериала (рис. 4.34). Ширина пропила составляет 3,6мм. Раскрой на ламели производился поперечно-продольным способом. Из пиломатериала древесины сосны также получим 8 ламелей шириной 40мм и две толщиной 0,6мм и длиной 1500мм.



Рисунок 4.33 Имитация раскроя пиломатериала из древесины сосны на заготовки

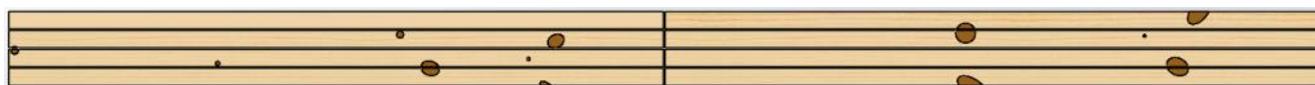


Рисунок 4.34 Имитация раскроя пиломатериала из древесины сосны на заготовки

Рассортировываются полученные ламели на группы качества. Нумерация ламелей сверху вниз слева направо в соответствии с расположением на рисунке (Рис.4.33, 4.34). Распределение ламелей по группам качества представлено в Таблице 26.

Таблица 26

Распределение ламелей по группам качества

Порода	Береза				Сосна			
	Соответствие сорта ламели							
№ ламели	0	A	B	C	0	A	B	C
1	+				+			
2		+						+
3		+						+
4				+				+
5	+							+
6			+					+
7		+						+
8			+					+

Далее смоделируем вырез пороков в пиломатериале из древесины березы (Рис. 4.35) и из древесины сосны (Рис. 4.36).



Рисунок 4.35 Имитация вырезки пороков в пиломатериале из древесины березы

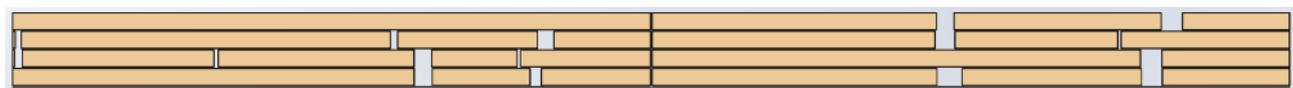


Рисунок 4.36 Имитация вырезки пороков в пиломатериале из древесины сосны

Результаты вырезки пороков, общее количество дефектных и бездефектных участков приведены в Таблице 27.

Результаты вырезки пороков, общее количество дефектных и бездефектных участков

Порода	Береза		Сосна	
№ порока	Габариты вырезки порока, мм	Объем вырезки порока, $V \text{ м}^3$	Габариты вырезки порока, мм	Объем вырезки порока, $V \text{ м}^3$
1	14,19x32x40	$1,8163 \cdot 10^{-5}$	14,10x32x40	$1,804 \cdot 10^{-5}$
2	7,1x32x40	$9,00 \cdot 10^{-5}$	18,23x32x40	$2,333 \cdot 10^{-5}$
3	8,63x32x40	$1,10464 \cdot 10^{-5}$	9,96x32x40	$1,274 \cdot 10^{-5}$
4	29,41x32x40	$3,76448 \cdot 10^{-5}$	16,72x32x40	$2,140 \cdot 10^{-5}$
5	11,07x32x40	$1,41696 \cdot 10^{-5}$	41,26x32x40	$5,281 \cdot 10^{-5}$
6	14,11x32x40	$1,80608 \cdot 10^{-5}$	42,60x32x40	$5,452 \cdot 10^{-5}$
7	11,6x32x40	$1,4848 \cdot 10^{-5}$	8,53x32x40	$1,091 \cdot 10^{-5}$
8	17,97x32x40	$2,30016 \cdot 10^{-5}$	26,44x32x40	$3,384 \cdot 10^{-5}$
9	9,67x32x40	$1,23776 \cdot 10^{-5}$	38,66x32x40	$4,948 \cdot 10^{-5}$
10	5,19x32x40	$6,6432 \cdot 10^{-5}$	41,86x32x40	$5,358 \cdot 10^{-5}$
11	8,3x32x40	$1,0624 \cdot 10^{-5}$	46,79x32x40	$5,989 \cdot 10^{-5}$
12	22,67x32x40	$2,90176 \cdot 10^{-5}$	59,48x32x40	$7,613 \cdot 10^{-5}$
13	–	–	7,64x32x40	$9,779 \cdot 10^{-5}$
14	–	–	50,68x32x40	$6,487 \cdot 10^{-5}$
15	–	–	48,79x32x40	$6,245 \cdot 10^{-5}$
16	–	–	50,06x32x40	$6,407 \cdot 10^{-5}$
Минимальный размер порока, мм		7,1x32x40		7,64x32x40
Максимальный размер порока, мм		29,42x32x40		59,48x32x40
Суммарный объем пороков, $V \text{ м}^3$		$19,5452 \cdot 10^{-5}$		$81,345 \cdot 10^{-5}$
Суммарный объем бездефектных участков, $\text{м}^3$		0,016605		0,015986
Объем доски, $V \text{ м}^3$		0,0168		0,0168

#### 4.5 Выводы по главе 4

1. С увеличением диаметра бревна объемный выход ламелей из центральных досок свободной ширины без удаления не допускаемых пороков из заболонной зоны увеличивается. Так, из брёвен  $d = 16$  см объемный выход увеличился на

0,53 %,  $d = 18$  см – 1,25 %,  $d = 20$  см – 1,71 %, по сравнению с объёмным выходом ламелей фиксированной ширины 40мм.

2. С увеличением диаметра бревна общий объёмный выход ламелей свободной ширины без удаления не допускаемых пороков из заболонной зоны увеличивается в диапазоне диаметров 14 – 20 см с 16,81 % до 25,55 %.

3. С увеличением диаметра бревна общий объёмный выход ламелей с лицевой поверхностью в заболонной зоне свободной ширины без удаления не допускаемых пороков уменьшается в диапазоне диаметров 14 – 20 см с 13,46 % до 5,57 %

4. С увеличением диаметра бревна общий объёмный выход ламелей из древесины ложного ядра свободной ширины без удаления не допускаемых пороков изменяется с 3,99 % до 7,62 %.

5. Гипотеза о значительном увеличении объёмного выхода обрезных пиломатериалов из необрезных за счет увеличения использования сбеговой зоны путем уменьшения по толщине при обрезке пропиленной части кромки подтвердилась.

6. Увеличение объёмного выхода обрезных пиломатериалов с большей величиной допускаемого обзола происходит в основном в пиломатериалах, расположенных в поставе на границе пифагорической и параболической зон, в параболической зоне.

7. Для обрезных пиломатериалов стандартных размеров с большей величиной допускаемого обзола увеличение составило от 5,05 % до 6,57 % при распиловке вразвал из бревен  $d = 14...20$  см, и от 3,69 % до 5,72 % при распиловке с брусковкой бревен  $d = 16...20$  см.

8. В результате проведенного моделирования пиломатериалов в программе SolidWorks позволяет проанализировать пороки на плати доски и выбрать оптимальный способ раскроя, получить объёмный выход заготовок и отходов при раскрое пиломатериалов. Также в дальнейшем провести моделирование других пороков древесины. Данное моделирование в программе SolidWorks будет полезно как в производственных целях (имитация работы сканирующего оборудования для оценки качества пиломатериала), так и в учебных целях.

## ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЮ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ЗАГОТОВОК

### 5.1 Особенности оборудования лесопильно-деревоперерабатывающих производств

На лесопильно-деревоперерабатывающих производствах Российской Федерации около 43 млн. м<sup>3</sup> пиломатериалов. Для производства пиломатериалов используются круглые лесоматериалы хвойных пород.

Треть пиломатериалов производится предприятиями малого бизнеса. Используются горизонтальные ленточнопильные и однопильные круглопильные станки, имеющие низкую производительность.

На одного работающего приходится 1,5...1,7 м<sup>3</sup> пиломатериалов в смену. Камерная сушка пиломатериалов не производится. Цена обрезных пиломатериалов от 12 тыс. руб. за 1 м<sup>3</sup>.

Более крупные предприятия имеют производительность до 4 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов на одного работающего и поставляют на экспорт пиломатериалы с диапазоном цен от 100 до 250 долларов. При этом предприятия малого и среднего бизнеса поставляют пиломатериалы на экспорт в диапазоне 100...150 долларов.

Основной способ распиловки с брусковкой.

На первом проходе, для получения двухкантного бруса и необрезных досок используются:

- линии на базе многопильных круглопильных станков;
- линии, перерабатывающие горбыльную часть круглого лесоматериала в технологическую щепу;
- линии, профилирующие круглый лесоматериал в зоне получения обрезных досок за пределами двухкантного бруса. На втором проходе для получения пиломатериалов из двухкантного бруса:

- многопильные круглопильные станки;
- линии, профилирующие двухкантный брус в зоне за пределами его пласти, с последующим раскромом на обрезные пиломатериалы.

При сравнении линий на базе круглопильных станков, линий с профилированием круглого лесоматериала и двухкантного бруса с последующим раскромом на многопильных круглопильных станках получены следующие результаты:

- инвестиции на производство 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов уменьшается и составляет 59,7...83,8 % от варианта с использованием линий профилирования. Расчеты выполнены с учетом среднемесячной заработной платы в Российской Федерации за 2020 год.

- изменяется сырьевая база лесопильно-деревоперерабатывающих производств. Накопилось значительное количество спелых и перестойных насаждений. Ежегодно в Европейской части РФ и Урала можно использовать 21...28 млн. м<sup>3</sup> березовых круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов. Наряду с этим уменьшается сырьевая база лесопильно-деревоперерабатывающих производств по сортаментам хвойных пород.

- успешной замене части сортаментов хвойных пород на березовые способствуют новые решения по раскрою двухкантного бруса. Это потребовало новых решений в теории раскроа и потребует частичной модернизации существующего оборудования. Появление многопильных круглопильных станков для распиловки двухкантного бруса, выпиливаемого из крупных сортаментов, позволило решить эту задачу.

В ФРГ, Словении и РФ производятся такое оборудование. Станки фирмы MS MAS по 12 млн. руб., в Словении (Mebor SDH-D 320) 7-8 млн. руб., в РФ (KRAFTER) – 6 млн. руб. Технические параметры одинаковы. Скорость подачи – 0...30 м/мин.

Возможна установка пил, позволяющая распиливать двухкантные брусья с получением 2,3,4 толстых досок.

Это существенно уменьшает дробность сортировки круглых лесоматериалов, снижает цену сортировочных устройств для круглых лесоматериалов, уменьшает

объемы переместительных операций в процессе подготовки круглых лесоматериалов перед подачей их в лесопильный цех.

## **5.2 Длина круглых лесоматериалов для лесопильно-деревоперерабатывающих производств**

При определении длины круглых лесоматериалов хвойных пород для лесопильно-деревобработывающих предприятий устанавливались следующие требования:

– круглые лесоматериалы для лесопильно-деревобработывающего предприятия, предпочтительно одной длины, предпочтение отдается наиболее длинным сортаментам;

– с лесосеки круглые лесоматериалы поставляются преимущественно на лесопильно-деревобработывающего предприятия. Целлюлозно-бумажные комбинаты, предприятия по производству древесных плит и другие потребители находятся на значительном расстоянии от лесосеки и поставка на эти предприятия экономически невыгодна;

– лесозаготовителям выгодно поставлять круглые лесоматериалы большей длины;

– наиболее распространены сушильные камеры с фронтальной загрузкой пакетов длиной 6 м.

Для выполнения перечисленных требований подходят круглые лесоматериалы длиной 6 м. При раскрое на длину 6 м остается часть хлыста, из которой могут быть получены короткие сортаменты, диаметр которых 14 см и более. Если же получать из оставшейся части хлыста сортамент длиной 6 м, то возможно получение следующих сортаментов (Табл. 28) [30].

Диаметр круглых лесоматериалов в комлевой части хлыста на сортименты длиной  
6 м

Вариант раскроя	Диаметр хлыста, см	Диаметр круглого лесоматериала в верхнем отрезе, см
1	15	10,8
2	16	11,2
3	17	11,6
4	18	12
5	19	13

В варианте раскроя 1 величина сбega принималась 0,7 см/м, в варианте 2 – 0,8 см/м, в варианте 3 – 0,9 см/м, в вариантах 4,5 – 1 см/м.

При поставке круглых лесоматериалов в верхнем отрезе менее 14 см, их целесообразно раскраивать на лесопильно-деревоперерабатывающих предприятиях на 2 сортимента длиной по 3 м.

В отдельных случаях, когда требуется заготовки определенной длины, например, при производстве поддонов [109, 125, 126], соотношение размеров длины получаемых сортиментов может меняться.

Сортименты диаметром 10...13 см, длиной 3 м могут распиливаться с брусковой на обрезные пиломатериалы толщиной 16...25 мм и шириной 75 мм, 100 мм. При этом из круглых лесоматериалов диаметром 10 см выпиливается брус толщиной 75 мм, из круглых лесоматериалов диаметром 12 см – 100 мм.

Если диаметр круглого лесоматериала в верхнем отрезе получается менее 10 см, то этот сортимент может быть использован для получения заготовок цилиндрической формы [35].

### 5.3 Формирование параметров групп пиломатериалов при их сортировке

В процессе производства пиломатериалов регулировать их поступление в накопитель сортировочного устройства так, чтобы их количество было кратно объ-

ёмам сушильного и транспортного пакетов, не представляется возможным. Используя другую группу пиломатериалов, в которую поступают пиломатериалы тех же размеров и более свободных параметров по качеству, возможно обеспечить заданное количество пиломатериалов в первой группе.

Для изготовления домов сезонного проживания используется пиломатериалы, к которым могут предъявляться повышенные требования к внешнему виду лицевой пласти или к обеим пластям.

При сортировке пиломатериалов в процессе их производства, требуется сформировать группу с регламентируемыми параметрами и в заданном количестве. Доля таких пиломатериалов в общем объеме лесопильно-деревообрабатывающего предприятия невелика. Организация их сортировки в процессе производства требует дополнительных накопителей в сортировочном устройстве.

В лесопильном цехе распиливаются круглые лесоматериалы с широким диапазоном диаметров на группы пиломатериалов, имеющие различные размеры по толщине и ширине. Качество круглых лесоматериалов изменяется в широком диапазоне. Прогнозировать ожидаемое качество пиломатериалов возможно, но необходимо учитывать, что зависимость распределения пиломатериалов по сортам от качества круглых лесоматериалов - корреляционная.

В связи с этим, точно определить поступающее количество пиломатериалов определенного сорта невозможно. В современных технологиях производства пиломатериалов, загрузка их в сушильные камеры производится в специально сформированных сушильных пакетах с точным количеством пиломатериалов. Отгрузка пиломатериалов производится в транспортных пакетах также с точным количеством пиломатериалов.

В накопителе остаётся остаток, возникающий из-за некратности количества поступающих пиломатериалов количеству их в сушильных пакетах. Из накопителя остаток пиломатериалов можно переместить на промежуточный склад, что потребует дополнительной площади и дополнительных затрат. Возможно остаток пиломатериалов оставлять в накопителе до следующего заказа, но тогда необходимо увеличивать количество накопителей.

На лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях формируются группы пиломатериалов. При этом в каждой группе имеется несколько сортов пиломатериалов. Часть этих пиломатериалов соответствует по размерам и качеству пиломатериалам группы с повышенными требованиями к качеству пластей. Их можно направить в накопитель в количестве, кратном сушильному и транспортному пакетам, а после выполнения заказа накопитель может принимать пиломатериалы новой сортировочной группы.

Технология производства березовых пиломатериалов и заготовок должна быть совместима с технологией производства пиломатериалов и заготовок хвойных пород.

#### **5.4 Использование тонких пиломатериалов для производства стенового клееного бруса**

Параметры обрезных пиломатериалов, из мелких круглых лесоматериалов диаметром 10...13 см имеют существенные отличия от пиломатериалов, получаемых из средних и крупных сортиментов. Толщина таких пиломатериалов 16...25 мм, длиной, обычно, не превышающей 3 метра.

В мелких круглых лесоматериалах имеется одна зона качества – зона здоровых сучков и пиломатериалы получают однородные по качеству древесины [62]. Пиломатериалы с такими параметрами возможно использовать для производства стенового клееного бруса.

При калибровании тонких обрезных пиломатериалов под действием вальцов механизма подачи создается на пласть пиломатериалов в зоне фрезерования плоскость, параллельная режущей кромки инструмента, что не требует дополнительного припуска на удаление покоробленности.

Использование пиломатериалов, длиной 3 метра и менее, уменьшает величину кривизны по кромке обрезных пиломатериалов, так как кривизна по кромке

пиломатериалов имеет форму пологих дуг. При раскрое на  $n$ -частей, стрела кривизны уменьшится в  $n^2$  раз, что не потребует дополнительных припусков на устранение кривизны по кромке при их фрезеровании.

После калибрования пиломатериалы торцуются, с удалением недопустимых пороков и на пласти ламелей наносится клей. Формирование пакета бруса из ламелей осуществляется таким образом, что торцевые стыки слоя ламелей смещены относительно соединений соседних слоев ламелей.

Использование мелких круглых лесоматериалов на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях ограничено размерными параметрами пиломатериалов и показателями их объемного выхода.

Конструкция стенового клееного бруса позволит использовать тонкие и короткие пиломатериалы, получаемые из мелких круглых лесоматериалов [67]. Её особенность заключается в том, что торцы не склеиваются, а склеивание идет по пласти с соблюдением разброса в швах для того, чтобы не было потерь в прочности на изгиб. Конструкция стенового клееного бруса представлена на Рисунке 5.1.

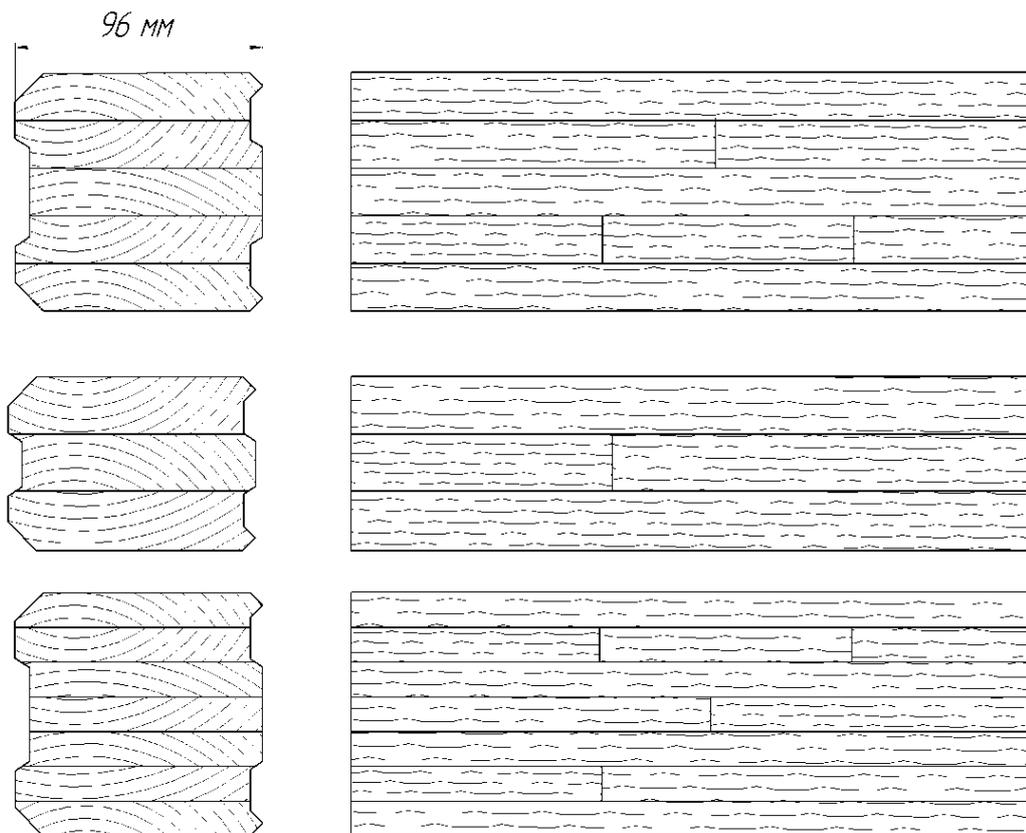


Рисунок 5.1 Конструкция стенового клееного бруса

Предложенная конструкция представлена в 3-х вариантах: 3-х слойная, 5-и слойная, 7-и слойная.

После склеивания брус направляется на дальнейшую обработку.

Предлагаемая технология производства стенового клееного бруса позволит использовать тонкие и короткие пиломатериалы, получаемые из мелких круглых лесоматериалов, исключить операцию склеивания ламелей по длине на зубчатый шип и существенно уменьшить припуски на обработку.

Для изучения влияния параметров пиломатериалов на объемный выход ламелей использовались методы компьютерного имитационного моделирования.

Принимались следующие параметры березовых обрезных пиломатериалов:

- обрезные, получаемые в пределах пласти бруса, при распиловке с брусовкой;
- обрезные свободной ширины;
- обрезные свободной ширины с тупым обзолом, получаемые при распиловке вразвал и с брусовкой.

Имитировался раскрой пиломатериалов на ламели заданной и свободной ширины. Способ раскроя пиломатериалов: поперечно-продольный.

Продольный раскрой отрезков на ламели предлагается осуществлять по следующей схеме (Рис. 5.2):

1. 100 → (46,5; 50,5; 46,5)
2. 125 → (58,5; 64,5; 58,5)
3. 150 → (52; 44; 47)

Рисунок 5.2 Схема раскроя пиломатериалов на ламели, мм.

Ламели по величине и количеству допускаемых в них сучков разделились на следующие качественные группы:

- в первой группе сучки здоровые допускаются не более 10 мм;
- во второй не более 30 мм;
- в третьей допускаются все виды сучков до 30 мм.

С использованием данной схемы раскроя пиломатериалов получают ламели шириной 40, 50, 70 мм и ламели свободной ширины в диапазоне  $\approx (41 \dots 70)$  мм.

Заготовки по величине и количеству допускаемых в них сучков – можно разделить на следующие качественные группы [2, 7, 16, 38, 41, 61, 62]:

*Первая группа качества.* Сучки сросшиеся, здоровые и тёмные не учитываются на пластьях и кромках, размером до 5 мм. Учитываемые сучки допускаются без выхода на рёбра размером до  $1/3$  толщины или ширины ламели, но не более 10 мм. На любой погонный метр длины ламели допускается не более 1-го учитываемого сучка. Частично сросшиеся, несросшиеся, гнилые и табачные сучки в ламелях - не допускаются.

*Вторая группа качества.* Сучки сросшиеся, здоровые тёмные – не учитываются на пластьях и кромках, размером до 15 мм. Учитываемые сучки допускаются без выхода на рёбра размером до  $1/3$  толщины или ширины ламели, но не более 30 мм. На любой погонный метр длины ламели допускается не более 3-х учитываемых сучков. Частично сросшиеся и несросшиеся сучки допускаются по размерам и в общем числе сросшихся сучков не более половины их количества. Гнилые и табачные сучки – не допускаются.

*Третья группа качества.* Сучки сросшиеся, частично сросшиеся, несросшиеся, выпавшие и заделанные – допускаются; допускаются также незаделанные.

#### Влияние площади пороков на пласти заготовок основного типоразмера.

Зависимость коэффициента качества  $K_k$  от площади пороков на пластьях пиломатериалов для ламелей основного типоразмера представлена на Рисунке 5.3 и в Формулах 5.1 и 5.2.

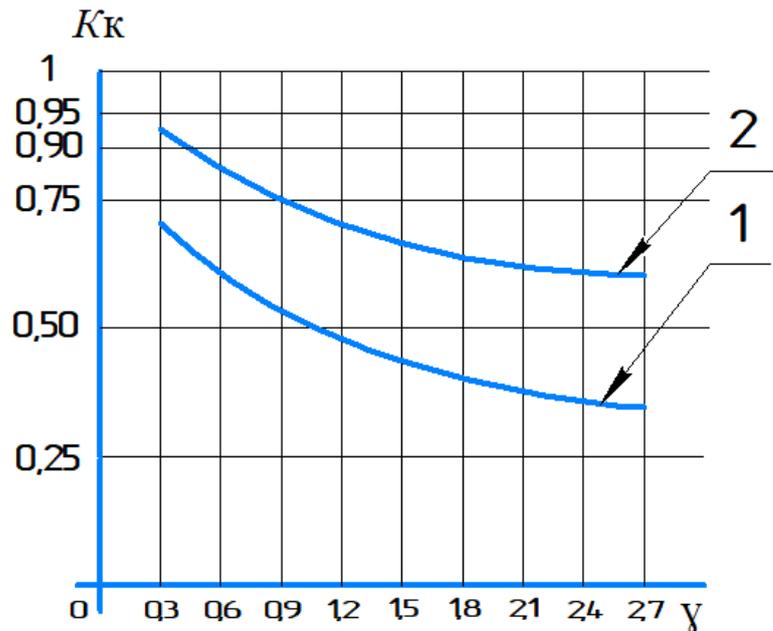


Рисунок 5.3 Коэффициент качества для ламелей основного типоразмера  $\gamma$  – площадь пороков на пластьях пиломатериалов, %; 1 – значения коэффициента качества при выработке заготовок 1-ой группы; 2 – значения коэффициента качества при выработке заготовок 2-ой группы.

Для первой группы качества (5.1):

$$K_k = 1,890/x + 0,235. \quad (5.1)$$

Для второй группы качества (5.2):

$$K_k = 1,826/x + 0,361. \quad (5.2)$$

Значение «х» в рабочем уравнении 4,5,6..., действительный классовый интервал  $\gamma = 0,3$  %.

При выработке из пиломатериалов ламелей 1-ой и 3-ей группы  $K_k$  0,47 и 0,53 соответственно. При 2-ой и 3-ей групп 0,58 и 0,42.

При данной схеме сортировки полностью исключается склеивание ламелей по длине на зубчатый шип. Полученные ламели отправляются на склеивание по ширине на гладкую фугу, склеивание по длине заготовок на зубчатый шип не производится.

Коэффициент брака принимается:

- для первой и второй групп – 3 % ( $K_{б.1} = K_{б.2} = 0,97$ );
- для третьей группы – 5 % ( $K_{б.3} = 0,95$ ).

Нанесение клея на кромки ламелей осуществляется на гладкую фугу.

После склеивания ламелей и технологической выдержки осуществляется шлифование поверхности щита для получения заданных размеров по толщине и требуемой шероховатости.

При шлифовании снимаем с поверхности щита 2 мм. Тогда коэффициент на шлифование  $K_{ш} = 0,9$ .

Объемный выход ламелей определяется по следующей Формуле 5.3:

$$V_{кл.щ} = V_{п} * K_{у.т.} * K_p * K_{фр} * K_T * K_k * K_б * K_{ш}, \quad (5.3)$$

$V_{кл.щ}$  - объемный выход клеёного щита, м<sup>3</sup>;  $V_{п}$  – объемный выход обрезных пиломатериалов, м<sup>3</sup>;  $K_{у.т.}$  – коэффициент на устранение трещин после сушки;  $K_p$  – коэффициент, учитывающий отходы в опилки;  $K_{фр}$  – коэффициент учитывающий припуск на фрезерование;  $K_T$  – коэффициент на торцевание;  $K_k$  – коэффициент качества;  $K_б$  – коэффициент брака;  $K_{ш}$  – коэффициент на шлифование.

Раскрой обрезных пиломатериалов на ламели из круглого лесоматериала диаметром 20 см, представлен в Таблице 29.

Таблица 29

Раскрой обрезных пиломатериалов заданной и свободной ширины на ламели

Диаметр d = 20 см						
Вразвал			С брусочкой			
Ширина пиломатериалов, мм						
185	171	135	125	125	106	108
Длина пиломатериалов, мм						
4000	4000	3883	4000	4000	3880	3300
Объём пиломатериалов, м <sup>3</sup>						
0,0369	0,0341	0,0261	0,0250	0,0250	0,0205	0,0177
Ширина получаемых ламелей, мм						
50	50					
70	70	70	70	70	40	40
57	43	61	51	51	62	64

Таблица 29 (продолжение)

Объём клеёного щита 1-ой и 3-ей качественных групп от объема круглых лесоматериалов, %			
1-ая качественная группа	3-ая качественная группа	1-ая качественная группа	3-ая качественная группа
18,59	20,53	16,85	18,61
39,12		35,46	
Объём клеёного щита 2-ой и 3-ей качественных групп от объема круглых лесоматериалов, %			
2-ая качественная группа	3-ая качественная группа	2-ая качественная группа	3-ая качественная группа
22,94	16,27	20,80	14,75
39,21		35,55	

Далее представлены на Рисунках 5.4 и 5.5 объёмный выход клеёного щита, из круглых лесоматериалов диаметром 14, 16, 18, 20 при распиловке на обрезные доски вразвал и с брусковой [38, 44].

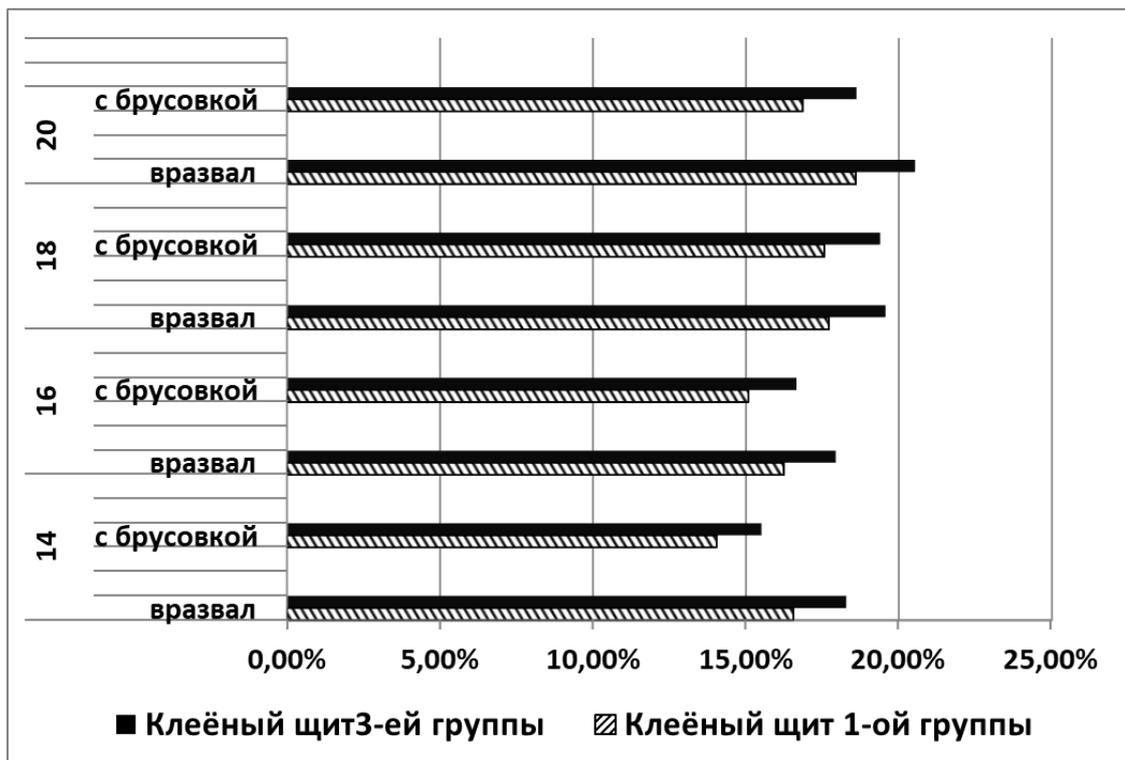


Рисунок 5.4 Объёмный выход клеёного щита, при выработке первой и третьей качественных групп

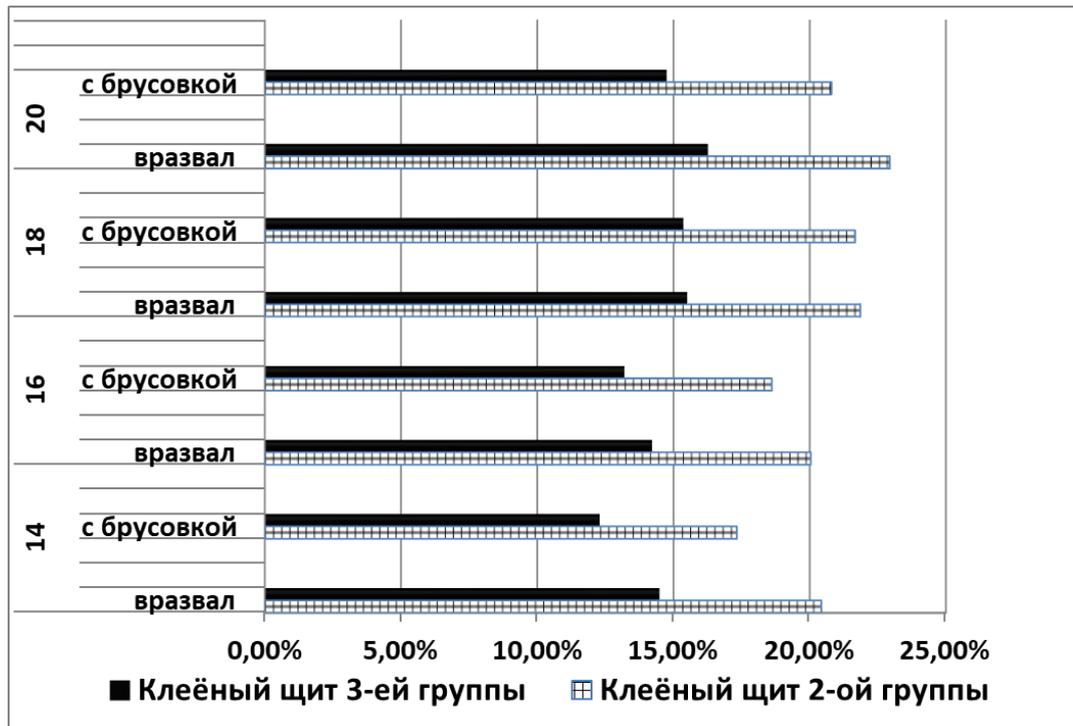


Рисунок 5.5 Объемный выход клеёного щита, при выработке второй и третьей качественных групп

Выполненные расчеты по объемному выходу заготовок для стенового клееного бруса толщиной 16, 19, 22 мм из древесных пород березы и сосны с учетом коротких пиломатериалов и припуска на дальнейшую обработку, представлены на Рисунках 5.6...5.8.

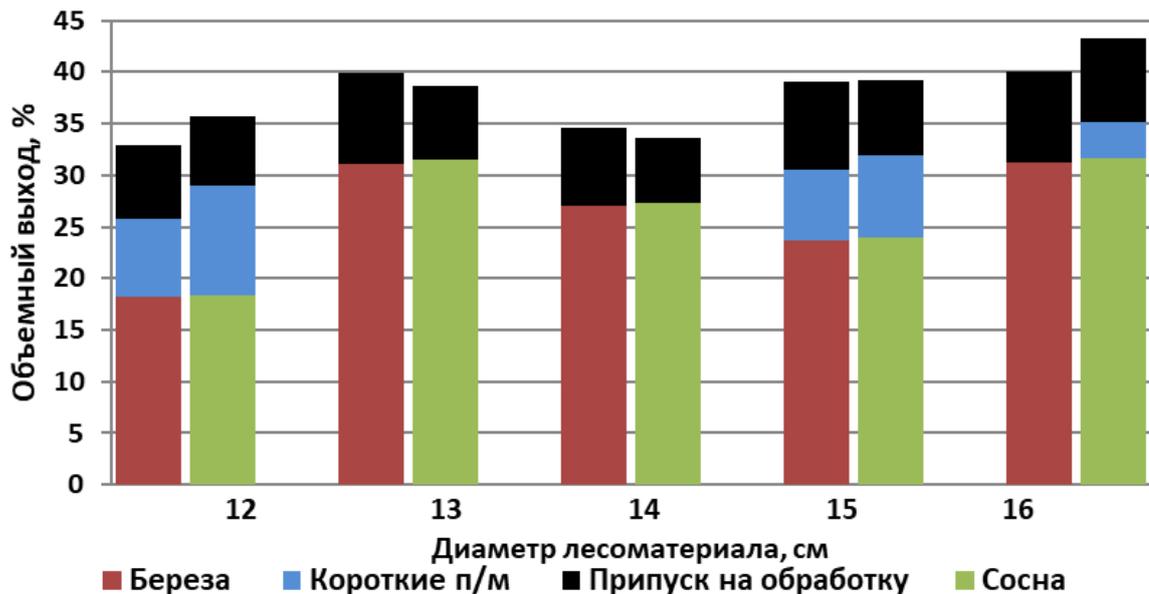


Рисунок 5.6 Объёмный выход заготовок для стенового клееного бруса из пиломатериалов толщиной 16 мм

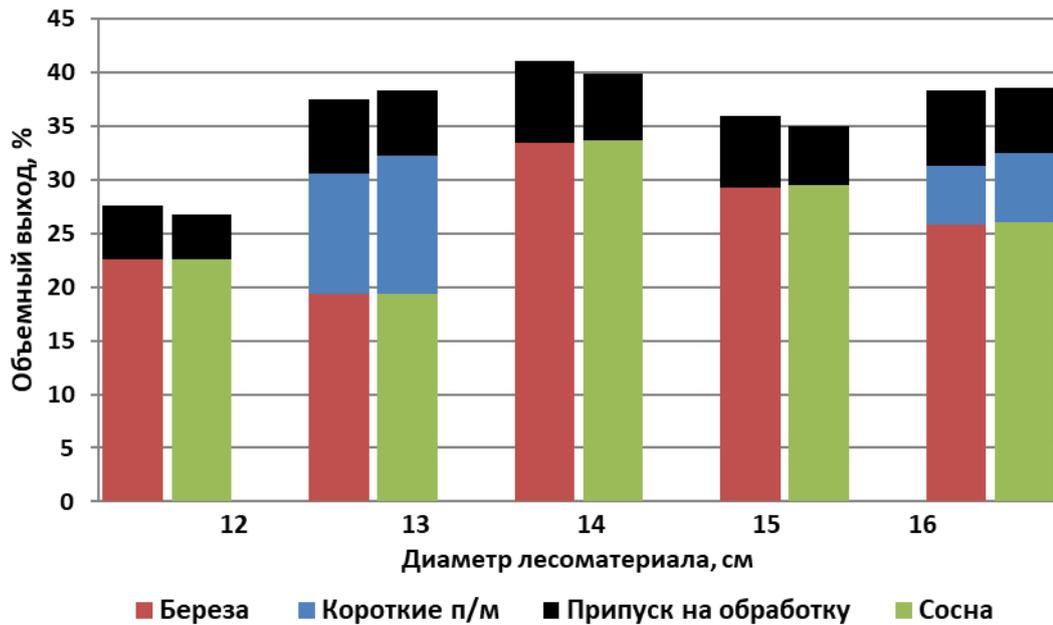


Рисунок 5.7 Объёмный выход заготовок для стенового клееного бруса из пиломатериалов толщиной 19 мм

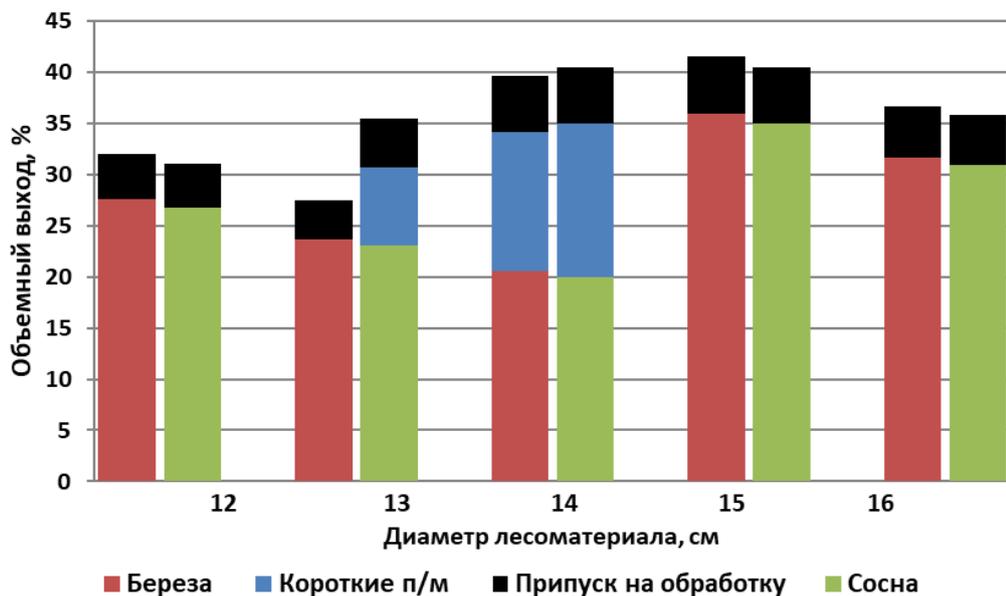


Рисунок 5.8 Объёмный выход заготовок для стенового клееного бруса из пиломатериалов толщиной 22 мм

Была определена доля берёзовых и сосновых мелких круглых лесоматериалов в хлыстах от 16 до 52 см. Исходя из этого мы можем сделать вывод, что с увеличением диаметра доля мелких круглых лесоматериалов уменьшается. Так же был

определен объемный выход пиломатериалов для производства стенового клеёного бруса.

Наибольший объемный выход заготовок для стенового клееного бруса составляет 35,9 % в круглых лесоматериалах диаметром 15 см при выработке пиломатериалов толщиной 22 мм.

Наименьший объемный выход заготовок для стенового клееного бруса составляет 22,5 % в круглых лесоматериалах диаметром 12 см при выработке пиломатериалов толщиной 19 мм.

### **5.5 Технология производства ламелей из заболонной зоны для клееного щита**

В круглых березовых лесоматериалах, предназначенных для производства пиломатериалов, имеется зона ложного ядра и заболонная зона [4; 40]. Прослеживается устойчивая тенденция спроса на клеёный щит, полученный из заболонной зоны. Поэтому увеличение доли клеёных щитов, полученных из заболонной зоны берёзы существенно улучшает технико-экономические показатели производства.

Увеличение объёмного выхода ламелей из заболонной зоны можно получить за счёт использования пиломатериалов с обзолом. При выработке обрезных пиломатериалов с обзолом увеличивается ширина доски, следовательно, и заболонной зоны.

На Рисунке 5.9 представлена схема раскроя на ламели центральных обрезных досок.

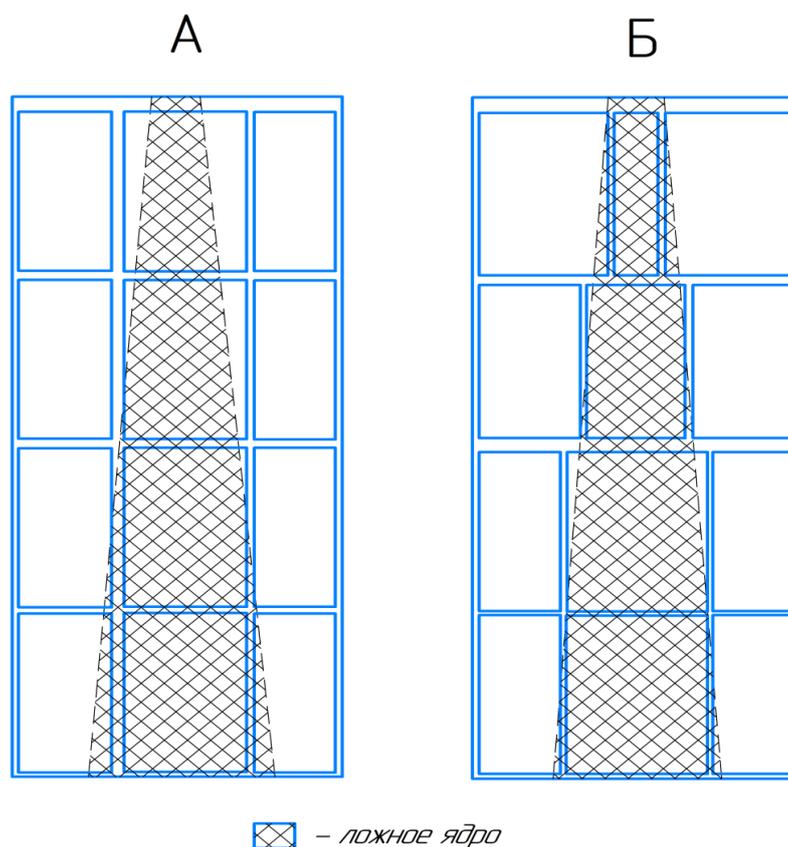


Рис. 5.9 Схема раскря на ламели центральных обрезных досок: А – групповой способ, Б – индивидуальный способ

Как следует из Рисунка 5.8 заболонная зона на пласти досок расположена в виде двух полос, их ширина близка к ширине ламели, если доска получена при распиловке вразвал.

Для расчёта диаметра ложного ядра в заданном диапазоне круглых лесоматериалов использовалось следующее уравнение (5.4)[4]:

$$D_{\text{л.я.}} = 0,032 + 0,417D_{\text{к.}}, \quad (5.4)$$

где  $D_{\text{л.я.}}$  – диаметр ложного ядра в комле, см;  $D_{\text{к.}}$  – диаметр бревна в комле, см.

Сбег ложного ядра принимается равным сбегу бревна  $S = 1 \text{ см/м}$ .

Для прослеживания влияния ложного ядра на качество ламели в обрезных пиломатериалах определялась длина и ширина ложного ядра на пласти доски (5.5)(5.6):

$$L_{\text{л.я.}} = \frac{D_{\text{л.я.}} - 2a_1}{s}, \quad (5.5)$$

где  $a_1$  – ширина полупостава первой пары досок, см.

$$b_{\text{л.я.}} = \sqrt{d_{\text{л.я.}}^2 - 4 \left( \frac{t_{\text{пр}}}{2} \right)^2}, \quad (5.6)$$

где  $b_{\text{л.я.}}$  – ширина ложного ядра на внутренней пласти доски в верхнем отрезе, мм;  
 $d_{\text{л.я.}}$  – диаметр ложного ядра в верхнем отрезе, мм;  $t_{\text{пр}}$  – ширина пропила, мм.

Для определения объёмного выхода ламелей при индивидуальном способе раскря, использовались методы компьютерного имитационного моделирования. В качестве модели были выбраны обрезные пиломатериалы толщиной 25 мм, полученные из бревен  $d = 14 \dots 20$  см, длиной 4 м. Было установлено что в центральных досках древесина ложного ядра наблюдается с обеих пластей, в боковых досках только с внутренней пласти, в крайних досках ложное ядро отсутствует.

Можно сформировать 5 видов клеёных щитов:

- щит со свободной шириной ламели;
- щит из ламелей древесины ложного ядра под непрозрачную отделку;
- односторонний щит из ламелей с обзолом и односторонним содержанием ложного ядра;
- односторонний щит из ламелей заболонной зоны с обзолом;
- щит из ламелей заболонной древесины.

Анализ расположения ложного ядра в досках показал, что только раскрой центральных досок индивидуальным способом может по сравнению с групповым увеличивать выход ламелей из заболонной зоны.

На Рисунке 5.10 представлен объёмный выход ламелей из заболонной зоны при групповом и индивидуальном способах раскря центральных досок.

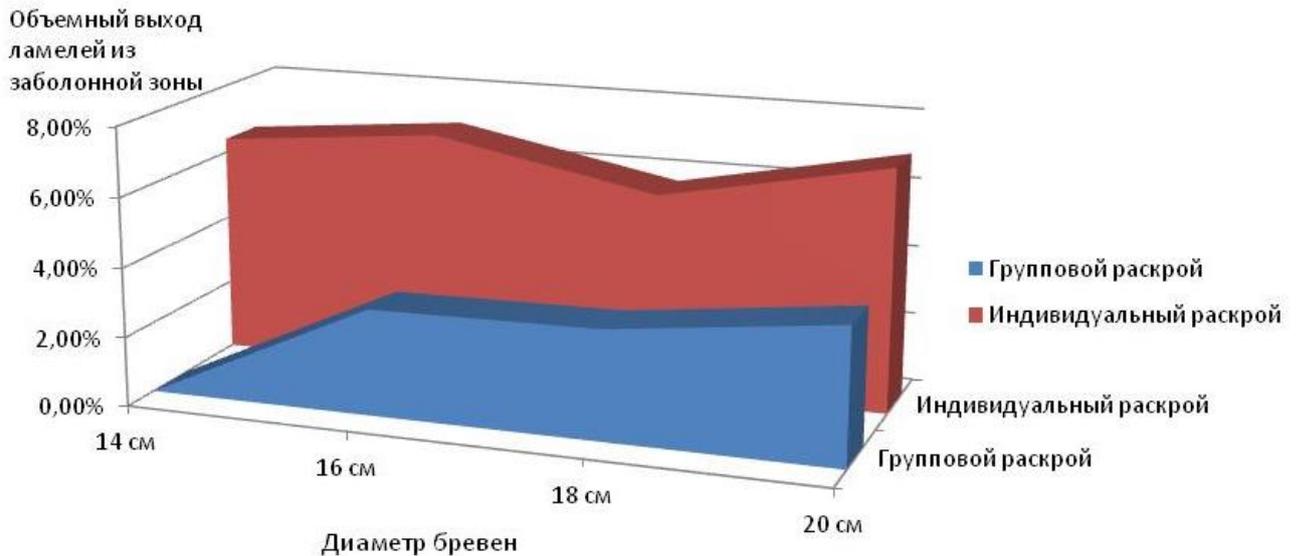


Рис.5.10 Объёмный выход ламелей из заболонной зоны при групповом и индивидуальном способах раскроя центральных досок

## 5.5 Использование тонких березовых пиломатериалов для производства поддонов и опалубки

Одноразовые поддоны обычно проектируются самим поставщиком продукции так, чтобы их габариты в наибольшей степени соответствовали размерам стопы отгружаемых изделий.

Конструкция и размеры многоразовых поддонов определены несколькими европейскими стандартами (DIN) и несколькими российскими, в целом не противоречащими DIN, но разработанными ещё в 1980-х годах и нуждающихся в изменениях и дополнениях в соответствии с современными требованиями.

Пиломатериалы, применяемые для изготовления деталей поддонов, должны иметь влажность не более 25 %, что практически соответствует транспортной влажности.

Древесина деревянных деталей должна быть без пороков: тупого обзола более чем на одном ребре любой детали, острого обзола, механических повреждений, прорости, рака и инородных включений, а также пластевых трещин, идущих от торцов досок более чем на 50 мм. Перечень допустимых пороков древесины приводится в соответствующих стандартах.

Каждая доска поддона должна быть цельной – сращивание и наращивание не разрешаются. Не допускается и наличие сучков на наружных ребрах крайних досок нижнего настила, а также в местах установки крепежных деталей.

Отверстия от сучков, выпавших при обработке досок, должны заделываться пробками из древесины той же породы, из которой изготовлены доски, с применением водостойкого клея. Шашки должны быть цельными или состоять из двух частей, соединенных водостойким клеем.

Шашки должны быть расположены так, чтобы волокна древесины, из которой они сделаны, были параллельны длинной стороне поддона. В шашках и брусках не допускаются сердцевина и двойная сердцевина.

В настоящее время на территории РФ действуют ГОСТ 33757-2016 [22]. Данный стандарт определяет только размер деревянного поддона. По нормативу ГОСТ 33757-2016 есть два варианта размеров тары для складирования и грузоперевозок российского образца:

- 1200\*800 мм. Этот размер паллета соответствует евростандарту.
- 1200\*1000 мм.

Максимально допустимое отклонение от указанных размеров – 5 %. Площадь нижнего настила может быть на 40 % меньше площади верхнего. Определяется также сортность и влажность используемой древесины. Качество древесины поддонов должно быть не ниже 2-ого сорта пиломатериалов по ГОСТ 8486-86 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия». Максимальная влажность древесины – 22 %.

В Европе используется несколько размеров паллет, но чаще всего применяются со стандартными размерами. Размер европаллета этого типа в миллиметрах – 1200\*800\*144 мм, вес европоддона до 35 кг. Загрузка до 600 кг.

Конструктивно европоддон состоит из верхнего и нижнего настила, состоящего из пяти досок: двух узких – шириной 100 мм и трех широких – 145 мм, толщина досок – 22 мм. Широкие расположены по краям и в середине, узкие между ними (Рис. 5.11).

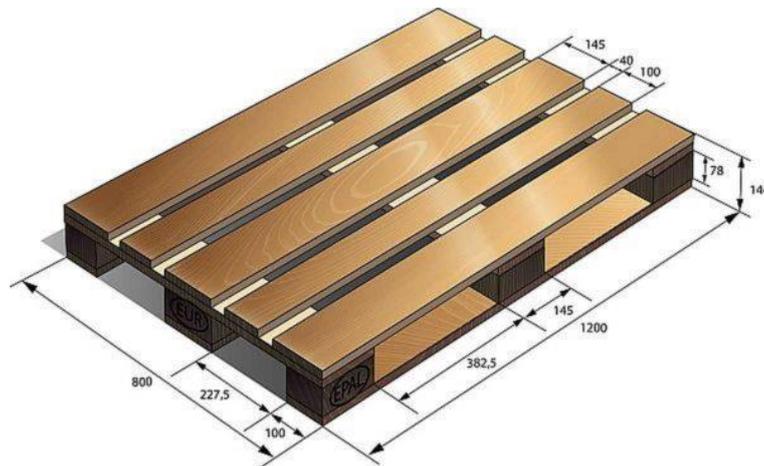


Рисунок 5.11 Размеры европоддона

Два настила соединяются при помощи отрезков бруса (применяют еще МДФ) – шашечек. Их размеры –  $100*145*78$  мм. Они обеспечивают пространство для ввода погрузочной платформы вилочного погрузчика.

Ряды между собой соединяются промежуточными планками. Параметры этих досок –  $145*22$  мм и длиной 800 мм. Они формируют из рядов прямоугольную платформу и служат опорой для укладки верхнего настила.

Из представленных материалов следует – тонкие березовые пиломатериалы могут использоваться для изготовления поддонов, но при условии, что пиломатериалы по ГОСТ 8486-86 должны быть не ниже 2-го сорта:

- пиломатериалы ниже 2-го сорта должны быть использованы на этом же лесопильно-деревоперерабатывающем производстве, так как их реализация в качестве товарных экономически не оправдана;

- использование тонких березовых пиломатериалов для изготовления опалубки.

Опалубка – это непостоянная конструкция, используемая только в течение времени проведения заливки и периода набора прочности бетоном. В большинстве случаев между щитами монтируют арматурный каркас. С помощью опалубки придают возводимым конструкциям различную форму.

Материалом для ее создания служат доски, полученные из самых разных пород дерева. Но они должны отвечать следующим, предъявляемым к ним требованиям, представленным в Таблице 30.

## Требования, предъявляемые к опалубке

№	Характеристики материала	Описание и значение параметров
1	влажность	от 25 %
2	толщина	20–50 мм
3	ширина	100–250 мм
4	По показателям прочности березовая древесина не уступает хвойным.	

О видах опалубки и о требованиях, которые к ней предъявляются – очень подробно говорится в ГОСТ 34329-2017 «Опалубка. Общие технические условия» [23].

Если рассматривать опалубочные конструкции из разных материалов, то деревянные щиты на фоне пластиковых и металлических изделий показывают себя как лучшее сочетание удобства в работе, надёжности и низкой стоимости.

Как показывает практика, порода древесины на опалубку не имеет значения. Опалубка для фундамента обладает временным характером.

Для производства опалубки используются пиломатериалы с влажностью 25 % и более. Подобный выбор обусловлен следующими факторами:

- при такой влажности древесина не пропитается цементным молоком и будет пригодна к повторному использованию;

- бетон в полной мере сохранит свои прочностные показатели, поскольку первоочерёдное при впитывании деревом поглощаются именно скрепляющие компоненты.

Под изготовление мелкощитовых опалубочных систем разрешается использовать древесный материал любой породы.

Толщина доски для опалубки является важнейшей характеристикой, определяющей прочность создаваемой конструкции. На его выбор влияют следующие факторы:

- предполагаемая нагрузка;
- размеры щитов;

– конструктивные особенности опалубки, так изменяя расстояние между опорными стойками можно регулировать толщину используемых пиломатериалов. Оптимальной можно считать толщину 22, 25 мм.

## 5.6 Сортировка пиломатериалов для деревянного домостроения

Пиломатериалы, используемые в деревянном домостроении, можно разделить на две группы:

– конструкционные, используемые в целом виде или раскраиваемые по длине на более короткие, при этом качество древесины в коротких пиломатериалах не меняется;

– пиломатериалы, предназначенные для поперечного и продольного раскроя на заготовки с удалением недопускаемых пороков.

Требования к качеству конструкционных пиломатериалов выше, т.к. в них не допускаются несросшиеся, гнилые и табачные сучки.

Формирование сортировочных групп пиломатериалов конструкционных и предназначенных для раскроя на заготовки, имеют существенное различие.

Сортировочная группа пиломатериалов, предназначенная для раскроя на заготовки, может иметь несколько сортов пиломатериалов. Это во многих случаях оправдано. Чем выше сорт пиломатериалов, тем больше объёмный выход заготовок, но и цена пиломатериалов выше. Если пиломатериал низкого сорта и обеспечивает получение заготовок требуемого размера и качества, установленных спецификацией, то включение пиломатериалов более высокого качества в сортировочную группу оправдано.

При формировании сортировочной группы конструкционных пиломатериалов, требуются пиломатериалы определенной группы качества. Пиломатериалы более низкого качества не допускаются при изготовлении изделия или допускаются в незначительном количестве. Пиломатериалы более высокого качества в сортировочную группу включать не имеет смысла, т.к. это приведет к увеличению себестоимости изделия.

Таким образом, сортировочная группа конструкционных пиломатериалов имеет техническое ограничение на использование низкосортных пиломатериалов и экономическое ограничение на использование высокосортных пиломатериалов.

Доля конструкционных пиломатериалов в общем объеме продукции лесопильно-деревообрабатывающих предприятий невелика, и в организации их производства часто нет заинтересованности.

Одной из причин такой ситуации является сложный процесс сортировки конструкционных пиломатериалов. В накопителе сортировочного устройства почти всегда образуется остаток пиломатериалов, возникающий из-за некратности объема поступающих в накопитель пиломатериалов объему сушильного или транспортного пакета.

### **5.7 Результаты разработки ГОСТ «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия»**

Бревна оцилиндрованные используются в деревянном домостроении. Практика показала, что отсутствие нормативных требований по кривизне бревен оцилиндрованных при использовании для стен деревянного дома хвойных круглых лесоматериалов 2 и 3 сортов по ГОСТ 9463-2016 [24] с допускаемой кривизной 1...1,5 % является приемлемым, так как каждое бревно обрабатывается индивидуально для его конкретного места в срубе.

При производстве бревен оцилиндрованных из таких же круглых лесоматериалов в условиях массового производства, потребовалось величину кривизны установить 0,1%. При этом стрела прогиба в оцилиндрованном бревне длиной 6м составляет 6мм. Дальнейшее увеличение кривизны бревна оцилиндрованного приведет к ухудшению теплотехнологических показателей деревянных домов из бревен оцилиндрованных.

В связи с этим был разработан национальный стандарта ГОСТ Р «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия». Составляющая этого ГОСТа

— это заготовки, для производства которых используются мелкие круглые лесоматериалы диаметром от 6...13 см. В настоящее время эти круглые лесоматериалы применяются для производства технологической щепы, в строительстве в необработанном виде. Используются круглые лесоматериалы  $d = 6...13$  см, длиной 3...6,5 м, с градацией 0,5 м.

Цель данного ГОСТа - заменить необработанные круглые лесоматериалы на бревна и заготовки оцилиндрованные с целью улучшения потребительских свойств деревянных домов.

Производство таких круглых лесоматериалов было возможно при использовании нижних складов, обеспечивающих сортировку по породам, диаметрам и длине. При сортиментной заготовке такую спецификацию выполнить не представляется возможным. Эти круглые лесоматериалы ограничены по количеству и размерам по длине могут поставляться на лесопильно-деревоперерабатывающих предприятий для производства заготовок оцилиндрованных.

Заготовки используются при создании малых архитектурных форм, ограждений, могут использоваться в деревянном домостроении вместо пиломатериалов, при производстве поддонов.

Бревна оцилиндрованные производятся, в основном, на лесопильно-деревоперерабатывающих предприятиях.

Одинаковые формы бревен и заготовок оцилиндрованных, использование в качестве строительных материалов позволили разработать проект национального стандарта ГОСТ Р «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия».

В зависимости от назначения получаемой продукции и требований по ее размерам в качестве сырья для производства заготовок оцилиндрованных используются главным образом сортименты по ГОСТ 9463-88 «Лесоматериалы круглых хвойных пород. Технические условия» [24], а технические условия по заготовкам по ГОСТ 70088-2022 «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия» [89] (приложение).

В настоящем стандарте [25] применены следующие термины с соответствующими определениями:

– бревно оцилиндрованное: Лесоматериал круглый, обработанный для придания ему цилиндрической формы. Боковая поверхность формируется фрезерованием на специальном оборудовании.

– заготовка оцилиндрованная: изготовленная из оцилиндрованного бревна, соответствует ему по качеству древесины, по размерам и качеству соответствует изготовленным из нее деталям и изделиям, с припуском на обработку и усушку. Может иметь продольный компенсационный пропил, паз, технологические отверстия. Должна соответствовать рабочим чертежам технической документации.

#### Основные типы и размеры оцилиндрованных бревен и заготовок.

Основные параметры бревен указаны на Рисунке 5.12.

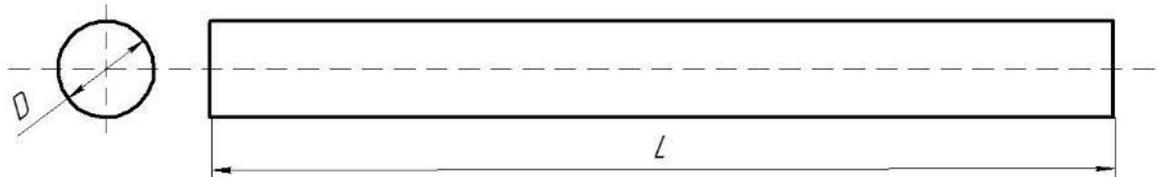


Рисунок 5.12 Основные размеры бревен:  $D$  – диаметр бревна;  $L$  – длина бревна

Номинальные размеры и предельные отклонения номинальных размеров бревен должны соответствовать значениям, указанным в Таблице 31.

Таблица 31

#### Номинальные размеры и предельные отклонения номинальных размеров бревен

Группа круглых лесоматериалов	Диаметр, мм		Длина, мм
Мелкие круглые лесоматериалы	50 – 130 (с градацией 10)		3000 – 4000 (с градацией 500)
Предельные отклонения от номинальных размеров, мм	50 – 100	более 100	+ 30...50
	(± 2)	(± 3)	

Примечания:

1. Номинальные размеры бревен по диаметру установлены для древесины влажностью 15 %. При влажности древесины более или менее 15 % фактические размеры диаметра должны быть более или менее номинальных размеров на соответствующую величину усушки по ГОСТ 6782.1 и ГОСТ 6785.2.

2. По соглашению с покупателем допускается поставка бревен с другими размерами, отличающимися от указанных в Таблице 5.4.

Основные параметры заготовок указаны на Рисунке 5.13.

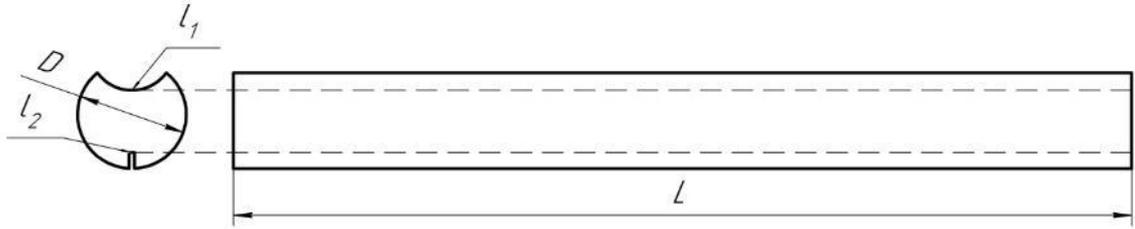


Рисунок 5.13 Основные размеры заготовки:  $D$  – диаметр заготовки;  $L$  – длина заготовки;  $l_1$  – продольный паз;  $l_2$  – продольный технологический пропи

Номинальные размеры и предельные отклонения номинальных размеров заготовок должны соответствовать значениям, указанным в Таблице 32.

Таблица 32

Номинальные размеры и предельные отклонения номинальных размеров заготовок

Группа круглых лесоматериалов	Диаметр, мм		Длина, мм
Мелкие круглые лесоматериалы	50 – 130 (с градацией 10)		1000 – 4000 (с градацией 500)
Предельные отклонения от номинальных размеров	50 – 100	более 100	± 30...50
	(± 2)	(± 3)	

Примечание: номинальные размеры заготовок по диаметру установлены для древесины влажностью 15 %. При влажности древесины более или менее 15 % фактические размеры диаметра должны быть более или менее номинальных размеров на соответствующую величину усушки по ГОСТ 6782.1 и ГОСТ 6785.2.

Бревна и заготовки необходимо изготавливать в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологической документации, утвержденной в установленном порядке.

Качество древесины бревен и заготовок должно соответствовать требованиям, указанным в Таблице 33.

## Требования к качеству древесины бревен и заготовок

Порок древесины в соответствии с ГОСТ 2140		Нормы ограничения пороков
Сучки	все разновидности, за исключением загнивших, гнилых, табачных	Допускаются
	загнившие, гнилые, табачные	Не допускаются
Грибные поражения		Не допускаются
Червоточина		Не допускается
Трещины	все разновидности, кроме метиковых и боковых от усушки	Не допускаются
	Таблица 33 (продолжение)	
	в бревнах и заготовках метиковые	Допускается не более 1/3 от диаметра соответствующего торца
	в брёвнах боковые от усушки при влажности поверхностных слоев более 30 %	Допускаются глубиной не более 1/10 от диаметра
	в заготовках боковые от усушки при влажности поверхностных слоев (15±3) %	Допускаются по длине глубиной не более 1/2 от диаметра
Механические повреждения и пороки обработки		Допускаются глубиной не более 5 мм, длиной и шириной не более 30 мм, не более 2 шт. на 1 погонном метре
Непрофрезеровка		Допускается глубиной не более 2 мм, длиной 250 мм, шириной 50 мм не более 1 шт. в сортименте
Скол		Допускается глубиной по радиусу 10 мм, глубиной по длине от торца сортимента равной диаметру
Пасынок, прорость открытая, сухобокость, душло, рак		Не допускаются
Обугленность, инородные включения		Не допускаются
Примечания		
1. Пороки древесины по ГОСТ 2140, не указанные в таблице 3, допускаются.		

Общие требования. Бревна и заготовки допускается производить из круглых лесоматериалов не ниже 3 сорта хвойных и лиственных пород древесины в соответствии с ГОСТ 9463 [24], ГОСТ 9462 [19] и без грибных поражений.

Отклонение от перпендикулярности торцов бревен и заготовок должно находиться за пределами припуска 30 мм.

В заготовках допускается отклонение от продольной оси сортимента не более 0,2 %.

Величина усушка для бревен и заготовок устанавливаются по ГОСТ 6782.1 и ГОСТ 6782.2.

Порядок пользования ГОСТ 6782.1 и ГОСТ 6782.2 при нахождении величины усушки следующий:

- параметр «толщина пиломатериалов» заменяется на параметр «диаметр»;
- для бревен и заготовок из древесины хвойных пород величина усушки находится в табл. 34 по ГОСТ 6782.1;

Влажность бревен и заготовок устанавливается по соглашению с покупателем.

Параметр шероховатости оцилиндрованных поверхностей бревен и заготовок  $R_m$  по ГОСТ 7016 [21] должен быть не более 300 мкм.

Одним из эффективных направлений использования тонкомерной березовой древесины в условиях предприятий лесного комплекса является производство деталей для строительства из заготовок оцилиндрованных.

В Норвегии и других скандинавских странах оцилиндрованная заготовка обрабатывается с двух сторон на двухкантный брус. Благодаря высоким качествам обработки поверхности дополнительная отделка снаружи и изнутри не нужна.

## **5.8 Выводы по главе 5**

1. Объемный выход ламелей из пиломатериалов, получаемых при распиловке вразвал больше, чем при распиловке с брусковкой от 0,34 % до 5,5 %.
2. Отсутствие в технологии производства клееного щита операции склеивания по длине на зубчатый шип, существенно упрощает процесс производства.
3. Полученные данные по объемному выходу клеёного щита могут быть использованы при расчете эффективности его производства.

4. Уменьшение расстояния между опорными стойками позволяет использовать для опалубки березовые пиломатериалы ниже 2-го сорта по ГОСТ 8486-86.

5. Увеличение в конструкции опалубки количества опорных стоек может быть осуществлено заменой стоек прямоугольных сечений на заготовки оцилиндрованные.

6. Производство березовых деталей поддонов и опалубки необходимо совместить на одном лесопильно-древоперерабатывающем производстве.

7. При распиловке с брусочкой в центральных досках ширина заболонной зоны меньше, чем ширина ламели; и получить ламели без ложного ядра невозможно.

8. Увеличение объёма ламелей из заболонной зоны за счёт использования индивидуального способа раскроя центральных досок, получаемых при распиловке вразвал составит: 6,4 % для круглых лесоматериалов  $d = 14$  см; 3,92% для  $d = 16$  см; 2,57 % для  $d = 18$  см; 3,09% для  $d = 20$  см.

9. Новые решения по раскрою двухкантного бруса способствуют успешной замене части сортиментов хвойных пород на березовые. Использование многопильных круглопильных станков для распиловки двухкантного бруса, выпиливаемого из крупных сортиментов, уменьшает дробность сортировки круглых лесоматериалов, снижает цену сортировочных устройств для круглых лесоматериалов, уменьшает объемы переместительных операций в процессе подготовки круглых лесоматериалов перед подачей их в лесопильный цех.

10. Технология производства березовых пиломатериалов и заготовок должна быть совместима с технологией производства пиломатериалов и заготовок хвойных пород.

11. Полученные данные по объемному выходу клеёного щита могут быть использованы при расчете эффективности его производства.

12. Анализ расположения ложного ядра в досках показал, что только раскрой центральных досок индивидуальным способом может по сравнению с групповым увеличивать выход ламелей из заболонной зоны.

13. Увеличение в конструкции опалубки количества опорных стоек может быть осуществлено заменой стоек прямоугольных сечений на заготовки оцилиндрованные.

14. Сортировочная группа конструкционных пиломатериалов имеет техническое ограничение на использование низкосортных пиломатериалов и экономическое ограничение на использование высокосортных пиломатериалов

15. Одним из эффективных направлений использования тонкомерной березовой древесины в условиях предприятий лесного комплекса является производство деталей для строительства из заготовок оцилиндрованных.

## **ГЛАВА 6. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТРЕБУЕМЫХ СОВРЕМЕННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ**

### **6.1 Факторы влияющие на обеспечение занятости в лесопильно-деревоперерабатывающих производствах**

На стадии разработки проектов реконструкции и строительства предприятий определяется количество современных рабочих мест. На принятие окончательного решения по количеству рабочих мест оказывает влияние соотношение живого и овеществленного труда. Влияние соотношения амортизационных отчислений и заработной платы.

Существует устойчивая тенденция к совершенствованию оборудования и увеличению его доли в себестоимости продукции.

Уменьшение номенклатуры и объемов производимого оборудования для лесопильно-деревоперерабатывающих производств в Российской Федерации привело к замене его импортным. В большинстве случаев это оборудование импортируется стран с развитой экономикой и основным его отличием является высокая производительность с минимальным использованием живого труда при его эксплуатации [5, 55, 59, 72, 73, 94].

Приобретая импортное оборудование, предприятие участвует в мировом разделении труда и в большинстве случаев имеет положительный результат.

Но это не всегда положительный результат для региона и государства, так как это приводит к уменьшению численности работающих и влияет на занятость населения, особенно если оборудование произведено в стране с более высокой заработной платой.

Для представленного варианта реконструкции можно предположить, что оборудование произведено в Германии.

Если сравнить среднюю заработную плату в Германии 3975 евро в месяц [106], и в России 50 000 рублей (551 евро) [57, 101], то в Германии заработная плата выше более чем в 7 раз.

Лесопильно-деревообрабатывающие предприятия с более развитой структурой деревообработки имеют ряд существенных преимуществ, чем предприятия ориентированные в основном на производство товарных пиломатериалов.

При производстве товарных пиломатериалов дробность их сортировки высока. Предположим, на лесопильно-деревообрабатывающем предприятии производятся обрезные пиломатериалы двух размеров по толщине 40 мм и 19 мм.

Общая дробность сортировки определяется по Формуле 6.1:

$$h_{\text{общ}} = h_{40} + h_{19}, \quad (6.1)$$

где  $h_{40}$  – дробность сортировки обрезных пиломатериалов толщиной 40 мм;  $h_{19}$  – дробность сортировки обрезных пиломатериалов толщиной 19 мм.

Дробность сортировки для пиломатериалов одной толщины определяется по Формуле 6.2:

$$h_i = b_i \times l_i \times s_i, \quad (6.2)$$

где  $b_i$  – количество размеров обрезных пиломатериалов по ширине  $i$ -ой толщины;  $l_i$  – количество размеров обрезных пиломатериалов по длине  $i$ -ой толщины;  $s_i$  – количество групп по сортам пиломатериалов или групп сортов  $i$ -ой толщины.

Наибольшая дробность сортировки у тонких пиломатериалов. В данном примере это пиломатериалы толщиной 19 мм. Количество размеров обрезных пиломатериалов по длине  $l_{19}$  может достигать 18. Однако, если обрезные пиломатериалы толщиной 19 мм производятся для внутривозвратской переработки, то их дробность равняется 2, так как они сортируются по длине на группы – до 3 м длиной, 3 м и более.

Увеличение доли коротких пиломатериалов для внутривозвской переработки позволяет увеличить производительность сортировочных устройств для товарных пиломатериалов и использовать сортировочные устройства, произведенные в Российской Федерации.

Пиломатериалы для внутривозвской переработки имеют не только меньшую дробность сортировки по сравнению с товарными, но для них не требуется операция торцовки после сушки.

В настоящее время отечественное машиностроение производит линии на базе круглопильных станков. Производительность линий на базе круглопильных станков меньше, но их использование позволяет приблизить лесопильно-деревообрабатывающие предприятия ближе к лесосекам, что существенно уменьшит затраты на транспортировку круглых лесоматериалов.

При сравнении разных вариантов реконструкции по соотношению амортизационных отчислений и заработной платы можно выбрать вариант реконструкции с большей численностью работающих. Выбор такого варианта поможет увеличить спрос на продукцию машиностроительных предприятий, расположенных на территории Российской Федерации.

Выбор окончательного варианта реконструкции или строительства предприятия с участием представителей региона поможет формированию количества требуемых в регионе современных рабочих мест.

## **6.2 Особенности использования импортного оборудования**

Международное разделение труда складывается не в пользу Российской Федерации, так как при реконструкции и строительстве предприятий в себестоимости производимой продукции значительной составляющей являются затраты на импортное оборудование [50]. Улучшение технико-экономических показателей в лесопильно-деревоперерабатывающих производствах зависит:

– от увеличения спроса на изделия из древесины и низких производственных затрат [48, 66, 68, 69, 123];

– от повышения потребительской ценности [35, 99, 110, 111, 112, 117, 118, 119];

– от использования трудового преимущества и преимущества в месте нахождения предприятия [100, 104, 107, 124, 128, 129, 130].

Можно предположить, что налоговые отчисления при использовании импортного оборудования с высокой составляющей овеществленного труда не восполнят уменьшения заработной платы и начислений на неё, в связи с сокращением количества рабочих мест.

Формирование технико-экономических показателей первого варианта реконструкции основывалось на работе предприятий в странах с высокой средней заработной платой.

Производственные линии обслуживают от одного до нескольких работающих. В структуре предприятия два уровня работающих – руководители и исполнители. Отсутствуют должности начальников цехов и отделов, мастеров, используется в полной мере цифровая экономика.

Сортировка круглых лесоматериалов осуществляется на автоматизированных сортировочных устройствах. Челюстные погрузчики работают без водителей. Перед распиловкой осуществляется окорка круглых лесоматериалов.

В лесопильном цехе используется фрезерно-брусующая линия и линия профилирования двухкантного бруса.

Сортировка сырых и сухих пиломатериалов осуществляется на автоматизированных линиях с использованием сканирующих устройств.

Используется сушильные камеры периодического действия с фронтальной загрузкой. Контрольные образцы в процессе сушки не используются.

Планируется распиливать 250 тысяч кубических метров круглых лесоматериалов и работа предприятия в две смены. При этом линии лесопильного цеха работают в одну смену. Фрезерно-брусующие линии имеют высокую производительность и их полное использование сдерживается в ряде случаев невозможностью поставки круглых лесоматериалов в требуемых объемах.

Разборка сушильных пакетов, окончательная торцовка, сортировка по качественным признакам и длине пиломатериалов, маркировка и формирование транспортных пакетов автоматизирована. На линии предусмотрены системы сканирования и оптимизации. В котельной в качестве топлива используется кора, опилки и топливная щепа.

Прототипом предприятий 2 – 4 вариантов являются действующие предприятия. При этом в экономические показатели были внесены следующие изменения:

1) Принималась среднемесячная заработная плата в Российской Федерации в 2020 году.

2) Реализация технологической щепы, опилок, коры (или её утилизация) в расчет себестоимости не включалась, так как предприятия будут находиться в неравных условиях при сравнении их экономических показателей.

3) Цена круглых лесоматериалов принималась при условии аренды насаждений. Рыночная цена круглых лесоматериалов выше принятой в расчетах и изменяется в значительном диапазоне.

4) Срок окупаемости оборудования принимался 4 года, для случая, когда реконструкция осуществляется за счет банковского кредита и отдавалось предпочтение отчислениям за амортизацию.

5) В первом и втором вариантах, при увеличении доли круглых лесоматериалов с кривизной, целесообразно использовать при распиловке двухкантного бруса технологию криволинейного пиления [92].

В Таблице 34 представлены 4 варианта лесопильно-деревоперерабатывающих предприятий с объемом производства пиломатериалов в год 125 000 м<sup>3</sup>; 240 000 м<sup>3</sup>; 27 000 м<sup>3</sup>; 8 400 м<sup>3</sup> соответственно.

## Объемы производства обрезных пиломатериалов на 1-го работающего в смену

№ п/п	Объем производства пиломатериалов в год, м <sup>3</sup>	Объем распиливаемых круглых лесоматериалов в год, м <sup>3</sup>	Объемный выход пиломатериалов в год, %	Количество работающих на предприятии, чел.	Объем производства на 1-го работающего в смену, м <sup>3</sup>	Инвестиции на реконструкцию, млн. руб
1	125 000	250 000	50	50	10	1 800,000
2	240 000	461 538	52	250	3,84	2 975,520
3	27 000	50 000	54	31	3,5	326,224
4	8 400	15 000	56	19	1,77	72,216

По второму варианту реконструкции планируется распиливать 461 538 кубических метров круглых лесоматериалов и работа предприятия в две смены. В процессе эксплуатации, по сравнению с первым вариантом, с учетом двойной нагрузки, осуществляется замена отдельных узлов линии. Структура предприятия традиционная. При реконструкции предприятия функционально оборудование одинаково с первым вариантом, но в средней ценовой категории.

По третьему варианту реконструкции планируется распиливать 50 тысяч кубических метров круглых лесоматериалов и работа предприятия в две смены.

В центральном, северо-западном регионах Российской Федерации 70...80 % объема круглых лесоматериалов по планам лесоустройства – березовые сортаменты. Концентрация круглых лесоматериалов хвойных пород будет затруднена из-за значительных расстояний до лесосеки.

В лесопильном цехе используются линии на базе многопильных круглопильных станков.

Сортировка круглых лесоматериалов и пиломатериалов осуществляется на специализированных линиях. Предусмотрена окорка, сушильные камеры и котельная на древесном топливе. Оборудование средней и низкой ценовых категорий.

По четвертому варианту реконструкции планируется распиливать 15 000 кубических метров круглых лесоматериалов и работа предприятия в одну смену, за исключением сушильного хозяйства и котельной.

При формировании объемов производства по четвертому варианту учитывалось, что одна треть годового объема производства пиломатериалов в Российской Федерации производится на предприятиях малого бизнеса с невысокой степенью их готовности для дальнейшего использования.

Наблюдается тенденция отказа от горизонтальных ленточнопильных станков и однопильных круглопильных станков в лесопильных цехах предприятий малого бизнеса. Поэтому в четвертом варианте предлагаются лесопильно-деревоперерабатывающие производства на базе многопильных круглопильных станков низкой ценовой категории и с меньшей мощностью двигателей.

### **6.3 Методика определения затрат на заработную плату на лесопильно-деревоперерабатывающих производствах**

Затраты на заработную плату (Табл. 35) при производстве 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов в зависимости от величины амортизационных отчислений и заработной платы рассчитывались при выполнении следующих условий:

- за базовый вариант лесопильно-деревоперерабатывающего производства принимался вариант 1, с объёмом производства на одного работающего 10 м<sup>3</sup> в смену;
- овеществленный труд при использовании импортного оборудования представлен через амортизацию в рублях на 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов;
- затраты на заработную плату представлены в рублях на 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов. В базовом варианте затраты составили 312 рублей [57, 59];
- в вариантах 2 – 4 сохранились затраты на заработную плату как в первом базовом варианте, но при этом к ним суммировались затраты на заработную плату, возникающие из-за использования оборудования средней и низкой ценовой категории;
- увеличение заработной платы за счет подбора оборудования соответствующей ценовой категории;

– цена 1 м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов принималась во всех вариантах одинаковой – 3000 р/м<sup>3</sup>;

Выполнение этих условий позволило по всем вариантам зафиксировать одинаковую чистую прибыль на 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов (Табл. 35).

Таблица 35

Затраты на заработную плату при производстве 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов, в зависимости от соотношения живого и овеществленного труда

№ п/п	Овеществленный труд (амортизация оборудования) на 1 м <sup>3</sup> обрезных пиломатериалов, руб.	Затраты на производство 1 м <sup>3</sup> обрезных пиломатериалов		Годовой фонд оплаты труда на производстве, млн. руб
		Овеществленный труд, руб	Живой труд, руб	
1	3600,0	3600,0	312,0	39,000
2	3099,5	4100,5	812,5	195,000
3	3020,6	4179,4	891,4	24,068
4	2149,3	5050,7	1762,7	14,807

Чистая прибыль, по базовому варианту №1 составила 13,47 %, для остальных вариантов чистая прибыль зафиксирована на том же значении (Табл. 36).

Таблица 36

Расчет чистой прибыли при цене 1 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов 19 000 рублей

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб
1	Цена круглых лесоматериалов на производство 1м <sup>3</sup> пиломатериалов	6 000
2	Расходы на производство 1м <sup>3</sup> обрезных пиломатериалов	3 600
3	НДС, 20 %:	2 600
4	Амортизация оборудования	3 600
5	Себестоимость	15 800
6	Прибыль до налогообложения	3 200
7	Налог на прибыль, 20 %	680
8	Чистая прибыль	2 560

В Таблице 37 представлены данные по заработной плате в сравнении с товарной продукцией и чистой прибылью.

## Заработная плата в сравнении с товарной продукцией и чистой прибылью, %

№ п/п	Объем производства пиломатериалов в год, м <sup>3</sup>	Заработная плата по сравнению с товарной продукцией, %.	Заработная плата по сравнению с чистой прибылью, %.
1	125 000	1,64	12,19
2	240 000	4,28	31,74
3	27 000	4,69	34,82
4	8 400	9,28	68,86

Выполненные исследования позволили получить затраты на амортизацию оборудования и заработную плату при использовании импортного оборудования при объемах распиливаемых круглых лесоматериалов от 15 000 м<sup>3</sup> до 461 538 м<sup>3</sup>.

Первый вариант – это современный вариант лесопильно-деревоперерабатывающих производств в мировой практике. В первом варианте был принят объем распиливаемых круглых лесоматериалов 250 тыс. кубических метров круглых лесоматериалов. На выбор этого объема повлияли состояние лесопильного фонда и растущие затраты на транспортировку лесоматериалов. Этот вариант предусматривает работу лесопильного цеха в одну смену, так как это соответствует годовой производительности современной фрезерно-брусующей линии.

Принятые инвестиции 14 400 рублей за 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов при реконструкции предприятия по сравнению со вторым вариантом инвестиций 12 398 рублей за 1 м<sup>3</sup>, уменьшились по сравнению с 1-ым вариантом на 13,91 %. Лесопильный цех не имеет существенных различий от первого варианта. Соблюдение технологий, обеспечение надежности оборудования, различие в структуре управления предприятием, трехуровневая первом варианте, и действующая цифровая экономика позволяют обеспечить в 1-ом варианте реконструкции производительность выше в 2 раза. При этом уменьшение инвестиций во втором варианте является оправданным, так как себестоимость продукции одинакова.

Увеличение инвестиции во втором варианте не привело к значительным изменениям, так как факторы, снижающие эффективность во 2-ом варианте остаются.

В первом и втором вариантах, при увеличении доли в круглых лесоматериалах с кривизной целесообразно использовать при распиловке бруса криволинейное пиление [92].

Многопильные круглопильные станки для распиловки бревен производятся в Российской Федерации и могут быть использованы при разработке проектов реконструкций лесопильно-деревоперерабатывающих производств.

Для сохранения параметров себестоимости, отпускной цены пиломатериалов по сравнению с первым вариантом, существенно уменьшается производительность труда на работающего в третьем варианте в 2,86 раза, в четвертом в 5,7 раза.

Наряду с этим значительно уменьшаются инвестиции за 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов по сравнению с первым вариантом, в третьем варианте на 16,10 %, в четвертом – на 40,30 %.

При разработке проектов реконструкции лесопильно-деревоперерабатывающих производств могут быть другое оборудование, технологии, цены на круглые лесоматериалы, пиломатериалы, но тенденция влияния особенностей использования импортного оборудования остаются.

Обращает внимание показатель заработной платы 1,64 % от объема товарной продукции, при производительности в смену на одного работающего 10 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов. В стране, производящей это оборудование, заработная плата выше и могла быть 11,48 % от объема товарной продукции. Такое существенное различие в заработной плате позволяет использовать оборудование, требующее больше живого труда. При производительности в смену на одного работающего 3,84 м<sup>3</sup> обрезных пиломатериалов в смену показатель заработной платы составит 4,28 % от объема товарной продукции. Численность и фонд заработной платы возрастают в 2,6 раза. Производительность труда по сравнению с существующей увеличивается в 1,92 раза и при использовании оборудования, произведенного на территории Российской Федерации, решается проблема занятости. В Российской Федерации производится оборудование по распиловке круглых лесоматериалов на базе многопильных круглопильных станков.

## 6.4 Выводы по главе 6

1. Сформированные четыре варианта реконструкции лесопильно-деревоперерабатывающих производств с одинаковой долей чистой прибыли на 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов позволили сравнивать полученные технико-экономические показатели.

2. Затраты на производство 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов по сравниваемым вариантам получились в диапазоне от 3600 до 5057,7 рублей. При этом первый вариант от четвертого отличается в 1,4 раза.

3. Заработная плата на производство 1 м<sup>3</sup> пиломатериалов по сравниваемым вариантам получилась в диапазоне от 312 до 1762,7 рублей. При этом первый вариант от четвертого отличается в 5,65 раза.

4. Затраты на создание одного рабочего места по первому варианту – 36 млн. рублей, по четвертому варианту 3,8 млн. рублей.

5. Соотношение живого и овеществленного труда на лесопильно-деревоперерабатывающем производстве с импортным оборудованием может быть использовано для определения количества работающих.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По выполненным исследованиям получены следующие результаты: подтверждена гипотеза, что брус максимального объема не гарантирует получение максимального объема толстых досок. Выделение вероятностной зоны в двухкантном бруссе, обеспечивающей увеличение толстых досок объемного выхода, позволяет уменьшить дробность сортировки круглых лесоматериалов перед подачей в лесопильные цехи и создать технологию производства березовых пиломатериалов совместимую с технологией производства пиломатериалов из круглых лесоматериалов хвойных пород.

2. Использование зависимости между толщиной четырехкантного бруса  $H$  и диаметром заготовки оцилиндрованной  $d_{ц}$ , при равном их объеме, позволит расширить сырьевую базу лесопильно-деревоперерабатывающих производств за счет использования мелких круглых лесоматериалов диаметром 6...13 см.

3. Выполненные исследования по использованию березовых пиломатериалов для производства клееного щита и разработке технологии его производства позволят увеличить спрос на березовые пиломатериалы.

4. Разработанный ГОСТ 70088-2023 «Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия» способствует расширению сырьевой базы лесопильно-деревоперерабатывающих производств.

5. Предлагаемая методика нахождения соотношения заработной платы и амортизационных отчислений, при одинаковой величине чистой прибыли в проектах реконструкции лесопильно-деревоперерабатывающих производств позволяет формировать современные рабочие места в производстве пиломатериалов и прогнозировать занятость населения, а также имеет социальную значимость.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Агеев, С.П. Вероятностное моделирование процесса производства пилопродукции // Вестник Московского государственного университета леса Лесной вестник, 2015. №2. С. 89 – 95.
2. Аксенов П.П. Технология пиломатериалов: [Учебник для лесотехн. вузов]. – М.: Гослесбумиздат, 1963. 579 с.
3. Аксенов П.П. Теоретические основы раскря пиловочного сырья. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 216 с.
4. Алексеева Л.Г. Природа и хозяйственное значение ложного ядра березы // Сборник работ по защите леса: сборник научных трудов: МЛТИ. 1957. № 1. С. 65 – 71.
5. Экономическая безопасность Российской экономики в условиях реализации Политики импортозамещения / Андреева Н.В. [и др.] // Экономика региона. 2015. № 4. С. 69 – 83. DOI: <https://doi.org/10.17059/2015-4-6>
6. Батин Н.А. Теоретические и экспериментальные исследования раскря пиловочного сырья. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ленинград. 1965. 24 с.
7. Батин, Н.А. К вопросу размерно-качественной характеристики пиловочника лиственных пород // Механическая технология древесины. Минск: Высш. шк., 1975. Вып. 5. С. 8 – 11.
8. Задраускайте Н.О. Моделирование операций качества и поперечного раскря пиломатериалов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2013. 21 с.
9. Бюллетень Ассоциации ЛЕСТЕХ №4, апрель 2021. URL: <https://alestech.ru/bulletin/4> (Дата обращения 29.05.2022).
10. Ветшева, В.Ф. Теоретические и экспериментальные исследования раскря крупномерных пиловочных бревен хвойных пород Сибири и Дальнего Востока: дис. ... д-ра техн. наук. Ленинград. 1974. 344 с.
11. Владимирова, Е.Г. Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины: дис. ... канд. наук. Москва. 2012. 179 с.

12. Разработка и реализация системы планирования для лесопильного производства / Воронин А.В. [и др.] // Труды СПИИРАН, 2012. С. 400 – 415.

13. Владимирова, Е.Г., Рыкунин С. Н. Сортирование пиломатериалов на группы качества // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник, № 3 (86). С. 89 – 92.

14. ГОСТ Р 59655-2021. Детали и изделия деревянные для малоэтажных жилых и общественных зданий. Технические условия. М., 2020. 12 с.

15. ГОСТ 8486-86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. М., Стандартиформ, 2006. 13 с.

16. ГОСТ 2140-81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы изменения. М., 2006. 123 с.

17. ГОСТ 24454-80 Пиломатериалы хвойных пород. Размеры. М., 2007. 3 с.

18. ГОСТ 2695-83. Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия. М., 2007. 6 с.

19. Влияние способов раскроя соснового пиловочника на параметры пиломатериалов / Побединский А.А. [и др.] // СИСТЕМЫ.МЕТОДЫ.ТЕХНОЛОГИИ. № 3 (59). 2023. С. 72 – 77.

20. ГОСТ 9462-2016. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. – М., 2018. 8 с.

21. ГОСТ 7016-2013 Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. М., 2013. 12 с.

22. ГОСТ 33757-2016 Поддоны плоские деревянные. Технические условия. М., 2019. 22 с.

23. ГОСТ 34329-2017 Опалубка. Общие технические условия. М., 2018. 33 с.

24. ГОСТ 9463-2016 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. М., 2016. 35 с.

25. ГОСТ 70088-2022 Бревна и заготовки оцилиндрованные. Технические условия. М., 2021. 12 с.

26. ГОСТ Р 49655-2021 Детали и изделия деревянные для малоэтажных и общественных зданий. Технические условия. М., 2021. 12 с.

27. Залгаллер В.А. Новое в составлении поставов для распиловки бревен // Тр. ин-та ЦНИИЛ. Л.: Севзаплес, 1956. Вып. 67. С. 32 – 67.

28. Факторы устойчивого развития регионов России: монография. Книга 20 / Алашкевич Ю.Д. [и др.] / Под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2015. 256 с.

29. Кантарович Л.В. Подбор поставов, обеспечивающих максимальный выход пилопродукции в заданном ассортименте // Лесн. пром-сть. 1949. № 7. С. 79 – 93.

30. Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н. О длине круглых лесоматериалов для лесопильно-деревоперерабатывающих производств // Леса России: политика, промышленность, наука, образование.: Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. Том 1 под. ред. А.А. Добровольского. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. С. 193 – 194.

31. Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н. Технология производства берёзовых пиломатериалов с обзолом для одностороннего мебельного щита // Деревообрабатывающая промышленность, 2017. №4. С. 21 – 27.

32. Каптелкин А.А. Влияние параметров обзола на размеры обрезных пиломатериалов // ЛЕСА РОССИИ: ПОЛИТИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 129 – 130.

33. Каптелкин А.А., Технология производства ламелей для клееного щита из березовых пиломатериалов с обзолом // Деревообрабатывающая промышленность, 2018. №3. С. 8 – 11.

34. Каптелкин А.А., Владимирова Е.Г. Оценка качества пиломатериалов с помощью имитационного моделирования в программе SolidWorks // Деревообрабатывающая промышленность. 2019. №1. С. 3 – 7.

35. Переработка тонкомерных березовых круглых лесоматериалов в условиях ограниченного спроса на технологическую щепу / Каптелкин А.А. [и др.] // Преподобный характер научных исследований и практика их реализации в условиях

глобального кризиса в экономике и обществе: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. СПбГЭУ, 2020. С. 7 – 11.

36. Каптелкин А.А., Кузьмин А.Д., Рыкунин С.Н. Сортировка пиломатериалов для деревянного домостроения // ЛЕСА РОССИИ: ПОЛИТИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ материалы Всероссийской V научно-технической конференции-вебинара. Изд-во Политех-Пресс, 2020. С. 129 – 130.

37. Рябченко Д.О. Экономическая оценка современного состояния лесопромышленного комплекса России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. С. 39 – 48.

38. Кравцов, Е.В. Технология производства заготовок из древесины березы для домостроения: дис. ... канд. наук. Москва. 2013. 195 с.

39. Кравцов Е.В., Кондратюк Д.В. Технологические решения переработки листовых короткомерных сортиментов // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник №8 (91). М.: 2012, С. 38 – 41.

40. Кравцов В.Е. Исследование размерно-качественных характеристик березовых пиломатериалов. / ФГУП «ГНЦ ЛПК» 2012. С. 90 – 93.

41. Кривошеков Н.В. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В. Визуальная сортировка пиломатериалов на основе расчетного метода определения объемного выхода заготовок // Лесотехнический журнал, 2017. № 4. С. 148 – 157.

42. Крылов Г. В. Методы экспериментальной оптимизации в деревообработке: учеб. пособие / В. Г. Крылов, В. Е. Пятков, М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2013. 34 с.

43. Кислый, В.В. Исследование и разработка показателей качества листового пиловочного сырья и пилопродукции из него: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1976. 183 с.

44. Кислый В.В., Образцов С.А., Сластенко Т.С. Математическое моделирование выхода заготовок деталей окон и дверей // Сборник трудов ВНИИДРЕВ. «Совершенствование производства деревянных домов заводского изготовления и столлярно-строительных изделий». Балабаново, 1980. С. 110 – 115.

45. Кислый, В.В. Оценка качества продукции лесной и деревообрабатывающей промышленности // М.: Лесная промышленность, 1975. 224 с.
46. Куликова, Н.В. Влияние качества берёзовых пиломатериалов на выбор технологии выработки заготовок для покрытий пола: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2018. 143 с.
47. Куликова Н. В., Рыкунин С.Н., Кривощёков Н.В., Методика расчета поставов с заданной величиной обзола // Лесотехнический журнал – научный журнал Том 6, № 3 (23). Воронеж: 2016. С. 91 – 99.
48. Куликова Н.В., Каптелкин А.А., Рыкунин С.Н. О технологии производства пиломатериалов из мелких круглых лесоматериалов // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Кострома, 2021. С. 142 – 144.
49. Куликова Н.В., Каптелкин А.А., Рыкунин С.Н. Особенности сушки заготовок цилиндрической формы // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2020 г.: сборник тезисов докладов. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2021. С. 115 – 116.
50. Куликова Н.В., Каптелкин А.А., Рыкунин С.Н. Формирование количества требуемых в регионе современных рабочих мест при реконструкции и строительстве предприятий через соотношение живого и овеществленного труда // Государство. Бизнес. Общество. Цифровая среда: траектория взаимодействия от теории к практике: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург 29-30 апреля 2021. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. С. 14 – 16.
51. Куликова Н.В. Расчёт коэффициента использования необрезной доски // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. Под ред. В.М. Гедьо. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2018. С. 295 – 298.
52. Огурцов В.В. Теория брусо-развальной распиловки бревен: монография

В.В. Огурцов. Красноярск: СибГТУ, 2011. 230 с.

53. Пенескин М.В., Рыкунин С.Н. Влияние кривизны круглых лесоматериалов на объемный и ценностный выход оцилиндрованных брёвен // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы IV научно-технической конференции, С.-Петербург, 22–25 мая 2019 г. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С. 240 – 242.

54. Песоцкий А.Н., Ясинский В.С. Рациональное использование древесины в лесопилении // М.: Лесная промышленность, 1977. 129 с.

55. Пискунов М.А. Особенности российского рынка лесозаготовительной техники // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 132 – 147. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-132-147>

56. Полосухина, О.И. Раскрой пиловочного сырья при производстве заготовок для деревянного домостроения: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 179 с.

57. Российский статистический ежегодник. 2021. М.: Росстат, 2021. 692 с.

58. Руководящие технические материалы по математическому определению технологии заготовок для малоэтажных деревянных домов: (Инструкция). М.: Б. и., 1987. 106 с.

59. Большаков Н.М., Жиделева В.В., Иваницкая И.И. Развитие расширенного воспроизводства интенсивного типа – главное направление устойчивого развития лесного сектора экономики // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики севера: вестник научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования сыктывкарского государственного университета. 2013. № 3. С. 129 – 137.

60. Рыкунин, С. Н. Рациональное использование древесного сырья в производстве заготовок: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1987. 270 с.

61. Рыкунин, С. Н. Исследование влияния качественных особенностей берёзового пиловочного сырья на выход заготовок и технологию их выработки: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1968. 160 с.

62. Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие: 3-е изд., М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 225 с.

63. Рыкунин С. Н., Пятков В.Е. Планирование раскроя пиловочного сырья и расчет производительности поточных линий: учеб. пособие // М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2011. 80 с.

64. Рыкунин С.Н., Харитонов Г.К. Особенности технологии производства пиломатериалов для деревянного домостроения на малых предприятиях // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы третьей международной научно-технической конференции. Под ред. В.М. Гедьо. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2018. С. 222 – 224.

65. Рыкунин С.Н., Харитонов Г.К., Кривощёков Н.В. Использование параболической зоны круглых лесоматериалов при производстве пиломатериалов // Деревообрабатывающая промышленность, 2017. № 4. С. 6 – 10.

66. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Влияние движения капитала на востребованность живого труда в сфере материального производства // Постнеклассическая наука: междисциплинарность, проблемно-ориентированность и прикладной характер: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. 29-30 июня 2021 года. Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2021. С. 12 – 14.

67. Рыкунин С.Н., Шалаев В.С., Кривощёков Н.В. К обоснованию параметров пиломатериалов, используемых в ограждающих конструкциях деревянных домов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы научно-технической конференции. Под ред. В.М. Гедьо. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2016. С. 103 – 104.

68. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Изменения востребованности живого труда при реализации стратегий развития отраслей в российской федерации // Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции.

30-31 августа. 2021. С. 7 – 9.

69. Рыкунин С.Н., Куликова Н.В., Каптелкин А.А. Инновации в инвестициях в условиях международного разделения труда на предприятиях по производству строительных материалов из древесины // Инновационно-инвестиционный фундамент развития экономики общества и государства: от научных разработок к практике: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. 27-28 декабря. 2021. С. 11 – 13.

70. Рыкунин С. Н., Пятков В.Е. Методы составления и расчета поставок: учеб. пособие. 3-е изд., М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 76 с.

71. Сайгин К.Ю., Шалаев В.С., Рыкунин С.Н. Влияние толщины бруса на сортность хвойных пиломатериалов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы IV научно-технической конференции. Под ред. В.М. Гедьо. СПб.: Изд-во ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2019. С. 245 – 246.

72. Самолькин К.Г. Состояние и тенденции развития российского рынка деревообрабатывающей промышленности // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2010. № 3 (23). С. 8 – 17.

73. Симачев Ю., Кузык М. Г., Зудин Н. Импортозависимость и импортозамещение в российской обрабатывающей промышленности: взгляд бизнеса // ФОРСАЙТ. 2016. Т. 10. № 4. С. 25 – 45. DOI: <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.4.25.45>

74. Сластенко Т.С. Теоретические и экспериментальные данные исследования влияния качества пиломатериалов на выход стройдеталей: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1978. 187 с.

75. Феляев В.В., Чубинский А.Н. Исследование прочности склеивания хвойных пиломатериалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. №. 225. 2018. С. 202 – 212.

76. Панкратова А.З., Викулова Е.Н. Разработка и применение информационных технологий при изучении курса теории вероятностей и математической статистики // Инновационные технологии в образовательной деятельности. материалы

Всероссийской научно-методической конференции. 2018. С. 138 – 141.

77. Сытенков, В.М. Исследование качественной, количественной и спецификационной взаимосвязи хвойных пиломатериалов и заготовок: дис. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1962. 173 с.

78. Тепнадзе М., Миротадзе Л., Литкин Д. Некоторые результаты исследования пароквов древесины бука // Науковий вісник нубіп україни, серія: техніка та енергетика апк. 2013. Vol. 1, iss. 2. P. 27 – 32.

79. Технология пиломатериалов / Аксенов П.П. [и др.]. М.: Лесная промышленность, 1976. 480 с.

80. Техническое условие предприятия ДОК «Пахра» [электронный ресурс]. URL: [http://dok-pahra.ru/tu.php#tu\\_dub](http://dok-pahra.ru/tu.php#tu_dub) (Дата обращения: 14.11.2020).

81. Титков Г.Г. Краткое руководство по составлению и расчету поставов. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 50 с.

82. Раскрой круглых лесоматериалов с ядровой гнилью на пилопродукцию / Торопов А.С. [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2023. – Т. 41, №1. С. 80 – 88.

83. Торопов, А.С., Микрюкова Е.В. Исследование выхода продукции из комбинированного пиловочника с напенной гнилью // Весник инситута: преступление, наказание, исправление. 2015. № 1 (29) С. 75 – 78.

84. Торопов, А.С., Бызов В.Е., Торопов С.А. Производство пиломатериалов для строительства из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2019. №4. С. 133 – 143.

85. Кришьянис М. Совершенствование технологии пиломатериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 56 с.

86. Тюкина Ю.П., Рыкунин С.Н., Шалаев В.С. Технология лесопильно-деревоперерабатывающего производства. Учебник для техникумов. Palmarium Academic Publishing, 2019. 60 с.

87. Уласовец В.Г. Способы расчета и измерения средней ширины необрезных досок // Лнсотехнический университет. 2014. № 2 (14). С. 186 – 191.

88. Учебное пособие – Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (Серия Engineering Design and Technology), 2010. 156 с.

89. Фельдман Х.Л. Система максимальных поставок на распиловку. – М.: Гослестехиздат, 1932. 230 с.

90. Фергин В.Р. Развитие теории раскря пиловочного сырья // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. заведений) 2018. № 4. С. 107 – 117.

91. Фергин В.Р., Шако О.И., Ерхова О.И. Актуальные вопросы теории раскря пиловочного сырья: учеб. пособие. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 95 с.

92. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Швец В.Л. Анализ влияния качественных характеристик круглых лесоматериалов на выбор бревнопильного оборудования // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014. Вып. 208. С. 63 – 72.

93. Шапиро Д.Ф. Лесопильно-строгальное производство. Л.: Гослестехиздат, 1935. С. 88 – 97.

94. Шубина Н.В. Проблемы внедрения инноваций в деревообрабатывающей промышленности лесопромышленного комплекса // Региональная экономика: теория и практика. 2013. № 45 (324). С.45 – 55.

95. Шторм Р. Теория вероятности. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М.: Мир. 1970. 368 с.

96. Bankole O.S., Rohuma A., Kers J. Microstructure study if birch false heartwood. Proceedings of the 12th meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE). Riga, Latvia, 2016. P. 117 – 124.

97. Berglund A. Efficient Utilization of Sawlogs Using Scanning Techniques and Computer Modelling [Text]: doctoral thesis. LTU Skellefteå Luleå University of Technology, Sweden Skelleftea, 2014. 65 p.

98. Breinig L. CT Log Scanning for Sawing Optimization with Regard to the Aesthetic Quality of Wood [Text]: doctoral thesis. University of Freiburg, 2014. 58 p.

99. Brege S., Nord T., Sjostrom R., Stehn L. Value-added strategies and forward integration in the Swedish sawmill industry: positioning and profitability in the high-volume segment // Scandinavian Journal of Forest Research, 2010. no. 25(5). pp. 482 – 493.

100. Balassa B. Trade Liberalisation and Revealed Comparative Advantage. Manchester School of Economic and Social Studies, 1965, vol. 33. pp. 99 – 123.
101. CIA – The World Factbook – Field Listing: Budget [Электронный ресурс]: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/budget/> [Дата обращения 02.08.2021]
102. Cramer H. Mathematical Methods of Statistics, Princeton, 2012. 589 p.
103. Connors R. W., Mcmillin C. W., Lin K. and R. E. Vasquez-Espinosa Identifying and Locating Surface Defects in Wood: Part of an Automated Lumber Processing System // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-5, no. 6. Nov. 1983. pp. 573 – 583, DOI: 10.1109/TPAMI.1983.4767446.
104. Dieter M., Englert H. Competitiveness in the global forest industry sector: An empirical study with special emphasis on Germany. *European Journal of Forest Research*, 2007, no. 126. pp. 401 – 412. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-006-0159-x>.
105. Domeny J. Microwave Radiation Effect on Axial Fluid Permeability in False Heartwood of Beech (*Fagus sylvatica* L.). // *BioResources*, 2014, vol. 9, iss. 1. pp. 372 – 380. DOI: 10.15376/biores.9.1.372-380
106. Gehalt, Einkommen, Verdienst. Statista, 2021. 121 p.
107. Guillory, G. Comparative advantage versus absolute advantage. Ludwig von Mises Institute [Электронный ресурс]. 2005. URL: <https://mises.org/wire/comparative-advantage-versus-absolute-advantage>. (дата обращения: 05.10.2021)
108. Hörnfeldt R., Drouin M., Woxblom L. False heartwood in beech *Fagus sylvatica*, birch *Betula pendula*, *B. papyrifera* and ash *Fraxinus excelsior* – An overview // *Ecological Bulletins*, 2010, vol. 53, iss. 3. pp. 1262 – 1271. DOI:10.1093/treephys/tpz052
109. ISPM 15 «Руководство по регулированию древесных упаковочных материалов в международной торговле». Введ.01.03.2002. М.: Стандартиформ, 2008. 29 с.
110. Johansson J. Förutsättningar för konkurrenskraftigt utnyttjande av svenskt lövtimmer i svenska lövsågverk [Requirements for competitive use of Swedish hardwood in Swedish hardwood sawmills]. Växjö University, School of Industrial Engineering, 2003, no. 5. pp. 322 – 345.

111. Johansson, J. Product differentiation in the Swedish hardwood sawmill industry. Växjö University // School of Technology and Design, 2005, no. 25. pp. 122 – 141.

112. Johansson, J. Mechanical processing for improved products made from Swedish hardwood // *Acta Wexionensia* 2008, vol. 157. p. 58.

113. Kallakas H., Ayansola G.S., Tumanov T., Goljandin D., Poltimäe T., Krumme A., Kers J. Influence of Birch False Heartwood on the Physical and Mechanical Properties of Wood-plastic Composites // *BioResources*, 2019, vol. 14, iss. 2. pp. 3554 – 3566.

114. Lundahl C. G. Optimized processes in sawmills [Text]: licentiate thesis. Luleå University of Technology, Division of Wood Technology, Sweden: Skelleftea, 2007. 197 p.

115. Luostarinen K. The effect of annual ring orientation and drying method on deformations, casehardening and colour of silver birch (*Betula pendula*) boards // *Silva Fennica*, 2007, vol. 41, no. 4. P. 717 – 730. DOI: 10.14214/sf.278

116. Lycken A. Appearance Grading of Sawn Timber [Text]: doctoral thesis. LTU Skellefteå Luleå University of Technology Skeria 3, S-931 87 Sweden: Skelleftea, 2006. 238 p.

117. Makkonen M. Renewing the sawmill industry: studies on innovation, customer value and digitalization. Academic Dissertation. Helsinki, Finland, University of Helsinki, 2019. 65 p.

118. Makkonen M. Stakeholder perspectives on the business potential of digitalization in the wood products industry // *BioProducts Business*, no. 3, iss. 6, 2018. pp. 63 – 80. DOI: <https://doi.org/10.22382/bpb-2018-006>.

119. Makkonen M., Sundqvist-Andberg H. Customer value creation in B2B relationships: Sawn timber value chain perspective // *Journal of Forest Economics*, 2017, no. 29. pp. 94 – 106.

120. Martin M. Effect of birch heartwood on the physical and mechanical properties of wood-plastic composites // *BioResources*, 2017, vol. 9, iss. 1. pp. 75 – 85

121. Prka M. Characteristics and Share of European Beech False Heartwood in Felling Sites of Central Croatia // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2009, vol. 30, iss. 1. pp. 47 – 49.

122. Shmulsky R., Jones P.D. Forest Products and Wood Science: An Introduction. Chichester, Wiley-Blackwell, 2019. 504 p.

123. The Ministry of Industry, Employment and Communications. Mer trä i byggandet: Underlag för en nationell strategi att främja användning av trä i byggandet, Stockholm januari 2004, DS 2004:1. 54 p.

124. Tvrdon M. International division of labour in the context of globalisation: The case of the czech republic // Journal of Applied Economic Sciences, 2010, no. 5 pp. 359 – 369.

125. UIC 435-2 Standard of quality for a European flat wood pallet. – Union internationale des chemins de fer internationaux / international union of railway, 2005. 56 p.

126. Uniform standard for wood pallets. Alexandria, National Wooden Pallet and Container Association (NWPCA), 2007. 48 p.

127. Vuorilehto J. Measuring technology at mechanical wood processes Lappeenranta university of technology mechanical engineering department of wood technology, 2009. 71 p.

128. Wan M.L. In search of sustainable competitive advantage in the wood products industry: Evidence from China and Finland. Doctoral dissertation. University of Helsinki, Department of Forest Sciences, 2014, 51 p.

129. Zhang, Y. Internationalization of the forest industry: A corporate-level analysis. Dissertationes Forestales, 2014. 50 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.14214/df.180>.

130. Zhang Y., Toppinen A., Uusivuori J. Internationalization of the forest products industry: A synthesis of literature and implications for future research. Forest Policy and Economics, 2014, vol. 38, pp. 8 – 16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2013.06.017>.

## Приложение

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
70088—  
2022

---

### БРЕННА И ЗАГОТОВКИ ОЦИЛИНДРОВАННЫЕ

Технические условия

Издание официальное

Москва  
Российский институт стандартизации  
2022



*СПб Центр Системного Анализа*

# *Диплом*

*I степени*

*Лауреатов*

*Международной научно-практической конференции  
«Инновационно-инвестиционный фундамент развития экономики  
общества и государства: от научных разработок к практике»*

***Рыкунин Станислав Николаевич**  
**Каптелкин Александр Александрович**  
**Куликова Надежда Владимировна***

*Направление: Архитектура и строительство  
За доклад по теме: «Инновации в инвестициях в условиях международного  
разделения труда на предприятиях по производству строительных  
материалов из древесины»*

*Председатель конкурсной комиссии  
СПб «ЦСА»  
д-р экон. наук, профессор*



*А.И.Тимонова*

*27 – 28 декабря 2021 г.  
г. Санкт-Петербург*



СПб Центр Системного Анализа

# Диплом

*I степени*

*Лауреата*

*Международной научно-практической конференции  
«Постнеклассическая наука: междисциплинарность, проблемно-ориентированность и прикладной характер»*

**Каптелкин Александр  
Александрович**

*Направление: Архитектура и строительство*

*За доклад по теме: «Влияние движения капитала на востребованность  
живого труда в сфере материального производства»*

*Председатель конкурсной комиссии  
СПб «ЦСА»  
д-р экон. наук, профессор*



*А.А.Тименова*

*29– 30 июня 2021 г.  
г. Санкт-Петербург*



СПб Центр Системного Анализа

# Диплом

I степени

Лауреатов

Международной научно-практической конференции  
«Современные научные гипотезы и прогнозы:  
от теории к практике»

**Рыкунин Станислав Николаевич**  
**Куликова Надежда Владимировна**  
**Каптелкин Александр Александрович**

Направление: Архитектура и строительство

За доклад по теме: «Изменения востребованности живого труда при реализации стратегий развития отраслей в Российской Федерации»

Председатель конкурсной комиссии  
СПб «ЦСА»  
д-р экон. наук, профессор



*А.А.Тименова*

30 – 31 августа 2021 г.  
г. Санкт-Петербург



Санкт-Петербургский Центр Системного Анализа

# ДИПЛОМ

## I степени

Международной межвузовской  
научно-практической конференции

**Каптелкин Александр Александрович**

**«Устойчивое развитие  
в современном нестабильном  
мире: проблемы теории  
и практики»**

вручается за доклад по теме:

**«Устойчивое развитие лесопильно-  
деревоперерабатывающих производств»**

Направление – Архитектура и строительство

9-10 января 2023 года

г. Санкт-Петербург

Генеральный директор  
«Санкт-Петербургского  
Центра Системного Анализа»,  
канд. экон. наук, доцент



Сисина Н.Н.



СПб Центр Системного Анализа

# Диплом

I степени  
Лауреатов

Международной научно-практической конференции  
«Государство. Бизнес. Общество. Цифровая среда: траектория  
взаимодействия от теории к практике»

**Куликова Надежда Владимировна**  
**Каптелкин Александр Александрович**  
**Рыкунин Станислав Николаевич**

Направление: Архитектура и строительство

За доклад по теме: «Формирование количества требуемых в регионе  
современных рабочих мест при реконструкции и строительстве  
предприятий через соотношение живого и овеществленного труда»

Председатель конкурсной комиссии  
СПб «ЦСА»  
д-р экон. наук, профессор



*А.А.Тимонова*

29– 30 апреля 2021 г.  
г. Санкт-Петербург

«Утверждаю»

Заместитель директора

по учебной работе

МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

2023 г.



## СПРАВКА

об использовании результатов диссертационной работы А.А. Каптелкина на тему «Технология производства пиломатериалов и заготовок из древесины березы» в учебном процессе университета.

Мы, нижеподписавшиеся, начальник учебно-методического управления С.Б. Васильев, заведующий кафедрой «Древесиноведение и технологии деревообработки» В.Г. Санаев, доцент кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» А.В. Соболев составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы А.А. Каптелкина внедрены в учебный процесс кафедры «Древесиноведение и технологии деревообработки» в курс лекций и лабораторных работ по дисциплинам «Основы технологии производства», «Инжиниринг в сфере лесозаготовок и деревопереработки» для студентов направления подготовки 35.03.02 и 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Начальник учебного отдела  
МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доцент

Васильев С.Б.

Заведующий кафедрой ЛТ8-МФ  
«Древесиноведение и технологии  
деревообработки», профессор

Санаев В.Г.

Доцент кафедры ЛТ8-МФ  
«Древесиноведение и технологии  
деревообработки»

Соболев А.В.