

На правах рукописи



Фролов Иван Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ  
НИЗКОКАЧЕСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ АВТОМАТИЗАЦИЕЙ  
ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

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

Петрозаводск — 2019 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Научный руководитель **Григорьев Игорь Владиславович**,  
доктор технических наук, профессор

Официальные  
оппоненты **Шадрин Анатолий Александрович**, доктор  
технических наук, профессор, Мытищинский  
филиал ФГБОУ ВО «Московский  
государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)», профессор  
кафедры технологии и оборудования  
лесопромышленного производства

**Куницкая Дарья Евгеньевна**, кандидат  
технических наук, генеральный директор  
ООО «Агреман»

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования **«Братский государственный  
университет»**

Защита диссертации состоится 21 июня 2019 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.190.03 на базе ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» по адресу: 185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Петрозаводского государственного университета и на сайте [petrsu.ru](http://petrsu.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Р.В. Воронов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Использование стремительно сокращающихся запасов древесины хвойных пород для получения технологической щепы вынуждает производителей повышать эффективность производства, минимизировать затраты. На сегодняшний день использование древесины хвойных пород для производства технологической щепы является вынужденным.

В мире ежегодно заготавливается в среднем около 5 млрд. куб. метр. древесины. Скорость роста мягколиственной древесины по сравнению с хвойной в 2 раза быстрее. При условии, что в мягколиственной древесине содержание сердцевинной гнили может превышать 50% от общего объема древесины, то использование такой древесины может быть выгодно, если такая древесина обрабатывается автоматизировано и высокоэффективно. Использование мягколиственной низкокачественной древесины поможет снизить темпы вырубki хвойных пород. Технологическая схема большинства лесобработывающих предприятий морально устарела, так как при раскряжевке древесины в большинстве случаев учитываются только внешние пороки, визуальнo оцениваемые оператором при раскрое, а не внутренние пороки обрабатываемой древесины.

Использование внутренней дефектоскопии на основе рентгентелевизионного оборудования, а также акустическими методами позволило бы повысить качество выпускаемой продукции, а также автоматизировать процесс дефектоскопии, сортировки и раскряжевки круглых лесоматериалов. Это позволяет утверждать, что тема диссертации, направленная на повышение эффективности автоматизации технологических процессов древесно-подготовительных цехов, является своевременной и актуальной для лесопромышленного комплекса России.

Диссертация соответствует паспорту специальности: 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства». Область исследований: п. 3, п. 6, п. 7, п. 8, п. 9, п. 10, п.12

**Степень разработанности темы исследования.** Дефектоскопия круглых лесоматериалов на основе рентгена получила развитие в середине XX века, в связи с развитием данного метода исследования структуры материалов. Диссертационные исследования, связанные с возможностью выявления сердцевинной гнили, а также других пороков с использованием рентгентелевизионного оборудования, с возможностью получения качественного изображения заготовки, имеющей сердцевинную гниль или не имеющей сердцевинной гнили, проводились на рентгентелевизионном оборудовании досмотрового типа.

Использование рентгентелевизионного оборудования, в качестве прибора неразрушающего контроля, широко известно и применяется за рубежом, однако использование рентгентелевизионного оборудование способного производить изучение древесины вне зависимости от диаметра, а

также использование не только стационарного, но и переносных комплексов, до сих пор не известны.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности переработки низкокачественной древесины, путём определения наличия и размеров сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах.

**Объект исследований.** Способы выявления сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах с использованием методов неразрушающего контроля.

**Предмет исследования.** Выявление сердцевинной гнили в процессе переработке низкокачественной древесины.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные **задачи исследования:**

1. Ввести уточняющий коэффициент математической модели множеств для определения образа сердцевинной гнили по рентгеновскому снимку.

2. Экспериментальным путем доказать необходимость введения и эффективности уточняющего коэффициента математической модели множеств.

3. Разработать технические и технологические решения, позволяющие повысить эффективность обработки низкокачественной древесины, за счет точной оперативной оценки гнили в круглых лесоматериалах, повышения производительности линии, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

**Научная новизна.** Введен уточняющий коэффициент математической модели множеств для определения сердцевинной гнили по изображению, полученному на рентгенотелевизионном оборудовании позволяющая оценивать гниль в круглых лесоматериалах с целью повышения эффективности переработки низкокачественной древесины.

**Теоретическая и практическая значимость.**

1. Введен уточняющий коэффициент математической модели множеств для определения образа сердцевинной гнили по рентгеновскому снимку, позволяющий оценивать качество круглых лесоматериалов с использованием рентгенотелевизионном оборудовании, расширяющий возможности использования машинного зрения в лесозаготовительном производстве.

2. Разработанные технические и технологические решения позволяют повысить эффективность технологических процессов обработки низкокачественной древесины, за счет оперативного определения гнили в низкокачественной древесине, повышения производительности линии, снижения потерь энергоемкости процесса переработки низкокачественной древесины.

**Методология и методы исследования.** Теоретической основой исследования явились работы ведущих отечественных и зарубежных ученых по неразрушающему контролю древесины и древесных материалов, а также технологии обработки низкокачественной древесины.

В работе использованы базовые методы научно-технического познания, математического анализа и моделирования, измерения и обработки экспериментальных данных.

Автор в своих исследованиях опирался на фундаментальные работы ученых, работавших в области обработки низкокачественной древесины и неразрушающего контроля круглых лесоматериалов – Анучин Н.П., Берсенев А.П., Вакин А.Т., Веретенник Д.Г., Вильке Г.А., Грудини В.А., Долацис Я.Л., Ермолов И.К., Кармаднов А.Н., Коробов В.В., Куницкая О.А., Лакатош Б.К., Ласточкин П.В., Леонов Л.В., Леонтьев Н.Л., Матвеев-Мотин А.С., Петровский В.С., Полубояринов О.И., Поройков И.В., Савкин М.М., Тамби А.А., Чубинский А.Н., Щетинин Ю.И. и др.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- 1. Уточняющий коэффициент математической модели множеств для определения образа сердцевинной гнили по рентгеновскому снимку, полученному на рентгенотелевизионном оборудовании позволяющий оценивать гниль в круглых лесоматериалах с целью повышения эффективности переработки низкокачественной древесины.
- 2. Результаты экспериментальных исследований процесса определения сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах по снимку, полученному на рентгенотелевизионном оборудовании.
- 3. Технологические и технические решения, позволяющие повысить эффективность обработки низкокачественной древесины, за счет точной оперативной оценки качества гнили в круглых лесоматериалах, повышения производительности линии, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

**Степень достоверности и выводов и результатов исследований** обеспечена: применением современных методов и средств, обоснованными упрощениями и допущениями при разработке программы позволяющей производить дефектоскопию сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах, приемлемым совпадением результатов теоретических исследований с опытными данными, полученными при проведении экспериментов.

Основные положения диссертации докладывались на международных, всероссийских и студенческих научно-технических конференциях в Вологде, СПбГЛТУ, в рамках проведения Петербургского Международного Инновационного Форума, международного научного форума “Ломоносов 2017” и инновационного конкурса “Потенциал будущего”, а также выигран научный грант конкурса “Умник” на дальнейшую проработку идеи.

Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства».

**Публикации.** По результатам исследований автором опубликовано 6 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 1 статья Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 117 наименований, списка иллюстраций и приложения. Общий объем работы 98 страниц, включая 35 рисунков, 7 таблиц и приложений.

**Личный вклад автора диссертации** выражается в разработке методики исследования, составлении и исследовании математической модели, проведении экспериментальных исследований и обработке экспериментальных данных, формулировании теоретических положений, практических рекомендаций и выводов. Подготовке публикаций и заявок на патенты.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулирована актуальность темы диссертации и приведена общая характеристика работы.

**1. Состояние проблемы и задачи и исследования.** В разделе рассмотрены данные литературных источников и проанализированы основные внутренние пороки круглых лесоматериалов, автоматизация технологических процессов переработки круглых лесоматериалов имеющих сердцевинную гниль, системы определения сердцевинной гнили, позволяющие производить снижение потерь древесины при переработки в щепу, различные методы определения сердцевинной гнили, общие принципы автоматизации технологических процессов переработки низкокачественной древесины.

Показано, что современные подходы к автоматизации основных технологических операций по переработки круглых лесоматериалов, во многом, направлены на использовании магниторезонансной томографии. Однако, до сих пор нет работ, посвященных обоснованию оптимального метода распознавания образов, по изображению полученному на рентгенотелевизионном оборудовании, применительно к задачам оценки круглых лесоматериалов с целью повышения качества древесного сырья для переработки в щепу.

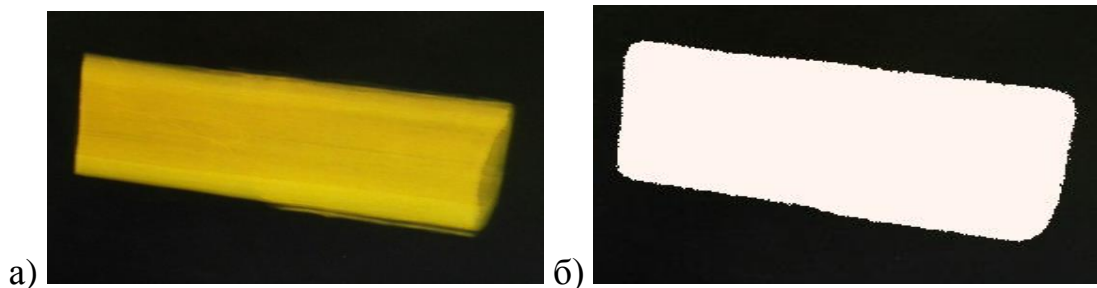
**2. Теоретические исследования работы системы автоматизированной оценки качества окорки балансовой древесины.** Использование оператора при определении внутренних и внешних пороков создает сложность при постановке задачи. Если необходимо резко поменять план выпускаемой продукции, то, как показывает практика, в этот процесс вмешивается человеческий фактор, и оператор не может перестроиться и начинает допускать ошибки.

Низкая технологичность процессов может обернуться значительными потерями. Обладая необходимыми устройствами и вычислительными мощностями, производство ощущает дефицит в исследованиях и проработанности математического обеспечения высокотехнологичных решений, комплексов, позволяющих ряд вышеозначенных потерь предотвращать на самых ранних этапах производства. Проведение дефектоскопии внутренних пороков в совокупности со сканированием

геометрии хлыста, а также автоматизация линии по производству технологической щепы из низкокачественной древесины, согласно предложенным технологическим схемам позволит сократить затраты на энергоресурсы, сократить технологическую цепочку, а с применением портативного рентгенотелевизионного комплекса сократить затраты на транспортировку круглых лесоматериалов, содержащих гниль.

Основной трудностью в данном вопросе является способ обработки цифрового изображения, получаемого с помощью рентгенотелевизионного оборудования. В рамках решения поставленной задачи устройство настраивается таким образом, чтобы дефектные области выглядели более темными, чем деловая древесина. Изображения древесины имеющей сердцевинную гниль, сучки и инородные включения являются разными, т.к. пороки имеют разную плотность. Модель и интерфейс рентгенотелевизионного оборудования, позволяют производить настройку оборудования по диапазонам плотностей, отображая на мониторе различными цветами, оттенками для легко выявления оператором-человеком, а в нашем случае при автоматизации. Поиск процентного соотношения содержания гнили в древесине, по изображению, полученному на рентгенотелевизионном оборудовании подразделяется на несколько этапов: разделение фона от объекта исследования, бинаризация изображения, сегментация, расчет процентного соотношения и присвоение класса.

Вопрос проведения качественной сегментации напрямую зависит от подготовки изображения к обработке. Существует несколько этапов подготовки снимка к обработке. Необходимо в случае, если на снимке имеются еще какие-то объекты, кроме исследуемого (ветки, кора, инородные включения), разделить объекты, которые могут помешать работе программы, фон и исследуемый образец. В нашем случае это можно сделать одним из методов бинаризации – методом Отсу. Пример изображения представлен на рисунке



Рентгеновский снимок образца с сердцевинной гнилью, подготовленный к сегментации и бинаризации:

а) изображение, требуемое подготовки к бинаризации; б) изображение после бинаризации

Бинаризация изображения - необходимая часть работы по определению образов сердцевинной гнили. Интересующие нас зоны сердцевинной гнили как правило либо выделяются по краям, либо имеют четко выраженное различие по яркости. Бинаризация – это присвоение каждому сегменту цвета, в зависимости от определения яркости, либо он относится к черному цвету,

либо к белому и будет и выполняет условие порога яркости. Сегментация – это разделение изображения на множество пикселей, в нашем случае это разделения изображения на нули и единицы.

Согласно проведенным исследованиям в работе по автоматизации окорки круглых лесоматериалов Куницкой Д.Е. доказана эффективность использование метода Отсу для определения процентного соотношения образов неокоренных участков, полученных по изображению. В нашем случае выполняется аналогичная работа определения образов гнили, поэтому будем использовать усредненное значение порога яркости обозначенное  $t$ .

По полученному изображению определим множество  $S = \{(x_i; y_j; b)\}$ , где  $b \in [0; 1]$  – число, принимающее, соответствующего точке  $(x_i; y_j)$ . Отметим, что  $b = 0$  в случае пикселя нулевой яркости (черного цвета),  $b = 1$  в случае пикселя белого цвета.

Прежде всего необходимо ввести ряд понятий, с помощью которых можно будет описать процесс анализа изображения заготовки древесины имеющей сердцевинную гниль.

Определение 1

Пусть даны два множества  $S_1 = \{(x_i; y_j; b_1)\}$  и  $S_2 = \{(x_i; y_j; b_2)\}$ . Произведением множеств  $S_1 = \{(x_i; y_j; b_1)\}$  и  $S_2 = \{(x_i; y_j; b_2)\}$  будем называть множество  $S = \{(x_i; y_j; b_1 \cdot b_2)\}$ . Обозначение:  $S = S_1 \times S_2$ .

Определение 2

Маска — это множество, которое содержит только элементы двух видов  $(x_i; y_j; 0)$  или  $(x_i; y_j; 1)$ . Обозначение:  $B$ .

Определим маски  $B_0 = \{(x_i; y_j; 0)\}$  при всех  $i, j$  и  $B_1 = \{(x_i; y_j; 1)\}$  при всех  $i, j$ .

Определение 3

Произведение множества  $S$  и маски  $B$  будем называть сегментацией множества  $S$  по маске  $B$ :

$$S = S \times B.$$

Произведение  $S \times B_0$  ( $S \times B_1$ ) сегментацией по цвету.

Определение 4

Инвертированием множества  $S$  назовем операцию, в результате которой получаем маску  $B$ , причем элемент  $(x_i; y_j; 0)$  множества  $S$  инвертируется в элемент  $(x_i; y_j; 1)$  маски  $B$ , если же  $b > 0$ , то элемент  $(x_i; y_j; b)$  множества  $S$  инвертируется в элемент  $(x_i; y_j; 0)$  маски  $B$ . Обозначение:  $\text{inv}\{S\}$

Определение 5

Объединением множеств  $S_1 = \{(x_i; y_j; b_1)\}$  и  $S_2 = \{(x_i; y_j; b_2)\}$  называется множество  $S = \{(x_i; y_j; b)\}$ , такое что  $(x_i; y_j; b) = (x_i; y_j; b_1)$ , если  $b \neq 0$   $(x_i; y_j; b) = (x_i; y_j; b_2)$ , если  $b = 0$ . Обозначение:  $S_1 \cup S_2$ .



1. Обозначим изображение через  $BS_0$ . Проведем бинаризацию изображения, чтобы определить объект на всем изображении, получим  $BS_1$ .

2. Выполнив сегментацию исходного множества  $BS_0$  по найденной на предыдущем шаге двухцветной маске:

$$BS_0 \times BS_1 = CS_1,$$

В результате получим множество объекта и однородный черный фон.

3. Для того чтобы выполнить бинаризацию изображения и выделить участок гнили составим дополнительное множество и назовем его  $TS_0$  (temporary — временный), одинаковый с исходным ( $BS_0$ ), заменив каждый элемент множества  $BS_0$  на максимум множества  $CS_1$ :

$$TS_0 = \{(x_i; y_j; b_1) | (x_i; y_j; b_1) = \max CS_1\},$$

4. Выполним сегментацию множества  $TS_0$  по маске, найденной на предыдущем шаге. В результате получим множества:

$$TS_1 = TS_0 \times \text{inv}(BS_0).$$

5. Объединив множества  $TS_1$  с  $CS_1$ , получим исходный объект с однородным ненулевым фоном:

$$CS_2 = TS_1 \cup CS_1.$$

6. Повторим п.1 для множества  $CS_2$ , что позволит выделить затемненные края изображения, получаемые в результате особенностей рентгеновской съемки заготовки.

7. Повторим п.п.5-7 для множества  $CS_2$ , чтобы полностью отсечь не информативную часть изображения. Получим маску  $BS_2$  и множество  $CS_3$ .

8. Повторив п.2 для множества  $CS_3$ , получим множество  $BS_3$ , которое можно сегментировать по цветовому признаку и выделить искомую потенциально дефектную область:

$$BS_3 \times S^{(0)} = US_0.$$

1. Для оценки полученного результата воспользуемся найденными множествами  $BS_3$  (для расчета площади объекта) и  $BS_2$  (для расчета площади потенциально дефектной области).

2. Сегментируем множество  $BS_2$  по цветовому признаку (белому) и получим количество точек  $s_1$ .

3. Сегментируем множество  $BS_3$  по цветовому признаку (черному) и получим количество  $s_2$ .

4. С учетом проведенных до построения множества  $BS_3$  операций, а также шумов исходного изображения необходимо внести коррективы в полученные результаты. Для восстановления объективной картины необходимо ввести коэффициент коррекции СК найденной области, данный коэффициент является расчетным и рассчитывается следующим образом:

$$CK = \frac{S\{BS_1 \times S^{(0)}\}}{S_{\text{общ.объекта}}} = \frac{S\{US^0\}}{S_{\text{общ.объекта}}}$$

$$S_{\text{общ.объекта}} = S\{BS_1 \times CS_0\}$$

В итоге формула для расчета процента затемненной области изображения будет выглядеть следующим образом:

$$O_{\text{теор}\%} = \frac{(C_2 \times CK \times 100)}{C_1}$$

где  $C_2$  – количество вершин, входящих в область обрабатываемого объекта;  $C_1$  – количество вершин, входящих в потенциально дефектную область; СК – коэффициент коррекции затемненных краев на изображении.

По приведенному выше алгоритму разработана программа, в ней реализован метод Отсу и порог яркости  $t$  и  $t+sk$ . Ниже представлены изображения полученные в ходе работы программы. Текст программы представлен в диссертации.

Как можно увидеть на предложенных изображениях выделенная область гнили практически полностью повторяет фактическую область гнили. Линии темного цвета по краям изображений также включены в коэффициент СК, так как программа по итогу воспринимает эти линии как часть гнили, хотя таковыми не являются. Линии темного цвета есть и на втором изображении, когда обрезаются края, и при определении области гнили, данные линии позволяют получить более качественную обработку изображения, так как диапазон сравнения порогов уменьшается с уменьшением размеров заготовки.

По полученным изображениям можно увидеть отсутствие сердцевинной гнили, а также реализацию программы и ход обработки. Согласно алгоритму программы первоначально отсекаем неинформативный фон от заготовки, следующим этапом для более качественной сегментации и бинаризации края заготовки (кору и часть деловой древесины – для облегчения работы программы и получения более качественного изображения, т.к. изображение уменьшается в размерах) используя эту функцию гниль определяется более точно на изображении, но при подсчете общего процента гнили относительно всей древесины, получен корректирующий коэффициент. На последней фотографии можно убедиться, что аналогичным образом выделяются края, но в отсутствии гнили программа показывает эти области белым цветом, соответственно это деловая древесина.

Таблица 1  
Изображение гнили и результаты обработки

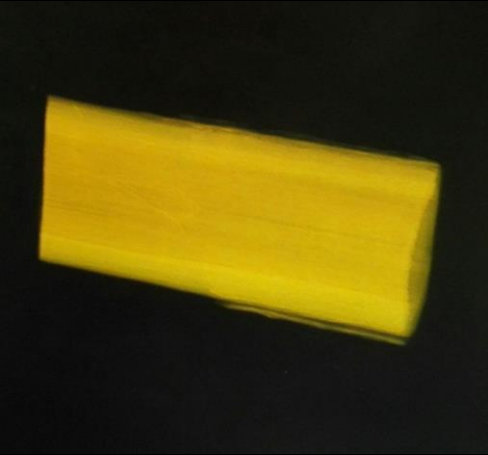
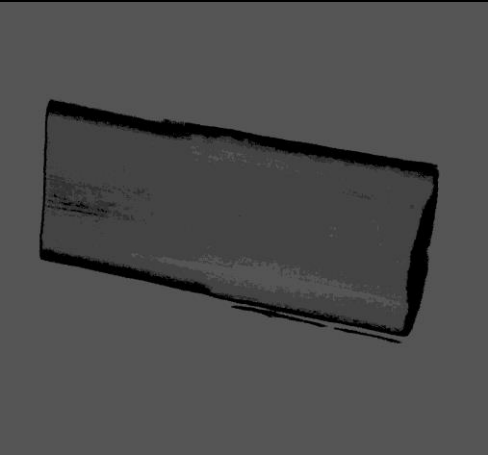
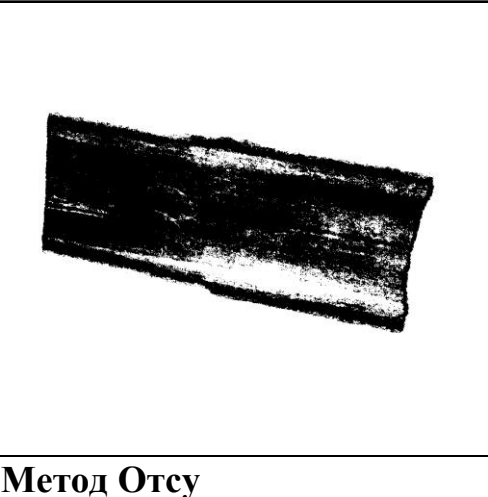



<p><b>Оригинал</b></p>		
<p><b>edges_cut</b> Отрезаем края</p>		
<p><b>Финальный вариант</b></p>		
	<p><b>Метод Отсу</b></p>	

Таблица 2

Работы программы в круглых лесоматериалах без гнили

<b>Оригинал</b>			
<b>edges_cut</b> Отрезаем края			
<b>Финальный вариант</b>			
<b>Метод Отсу</b>			

**Выводы по главе 2**

1. Рассмотренные алгоритмы распознавания образов сердцевинной гнили по рентгеновским снимкам позволяют различать участки с деловой древесиной и участки с сердцевинной гнилью.

2. По результатам проведенных исследований предлагается использование метода Отсу, приспособленного для задачи оценки качества сердцевинной гнили по распознаванию образов, а также разработана программа реализованная по данному методу, В экспериментальных исследованиях необходимо проверить адекватность разработанных математической модели и программ.

3. Введен уточняющий корректирующий коэффициент СК, позволяющий производить коррекцию затемненных краев всей области заготовки, в ходе работы программы.

**Оценка результата.** С учетом того, что затемненные области могут отображать также и деловую древесину, в частности, более плотное ядро, а также говорить о наличии сучков, необходимо ввести границы оценки найденного процентного соотношения темных участков к видимой площади всего объекта.

### **3. Экспериментальные исследования.**

В задачи экспериментальных исследований входила проверка разработанных в главе 2 диссертации алгоритмов для оценки содержания гнили в круглых лесоматериалах. Проводились эксперименты, доказывающие обоснованность выбора метода дефектоскопии для задачи повышения эффективности переработки низкокачественной древесины автоматизацией основных технологических операций. Для опытов были отобраны образцы мягколиственной древесины содержащей внутреннюю гниль, заготовленные одновременно на одной делянке.

Суть опытов заключалась в следующем. При помощи цифровой камеры делались снимки изображений заготовленных образцов, полученных на рентгенотелевизионном оборудовании.

После отделения изображения заготовок от фона, фрагменты фотоснимков обрабатывались с использованием описанных во 2 главе математической графоаналитической модели и реализованной по этой модели программы с использованием метода Отсу, с порогом яркости  $t$  до  $t+sk$ .

Результаты обработки изображений сопоставляли с натуральными измерениями гнили. Обмер осуществлялся по следующей методике: измерялся диаметр гнили с торцов, затем высчитывался объем цилиндра гнили и объём всей заготовки, так как диаметры имели практически равные значения. Далее образцы раскалывались и определялось наличие гнили, а также контуры гнили на совпадение с изображением.

При обработке экспериментальных данных использовались основные методы статистической обработки.

### **4. Результаты экспериментальных и теоретических исследований.**

Результаты оценки сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах по фотоснимкам, полученным на рентгенотелевизионном оборудовании, а также результаты сопоставления этих оценок с данными экспериментов, показали следующее, что в зависимости от выбранного порога разделения, метод Отсу дает оценки как большие, так и меньшие экспериментальных. При этом, в случае, если по методу Отсу задан порог  $t+sk$ , то значения наиболее близки к экспериментальным.

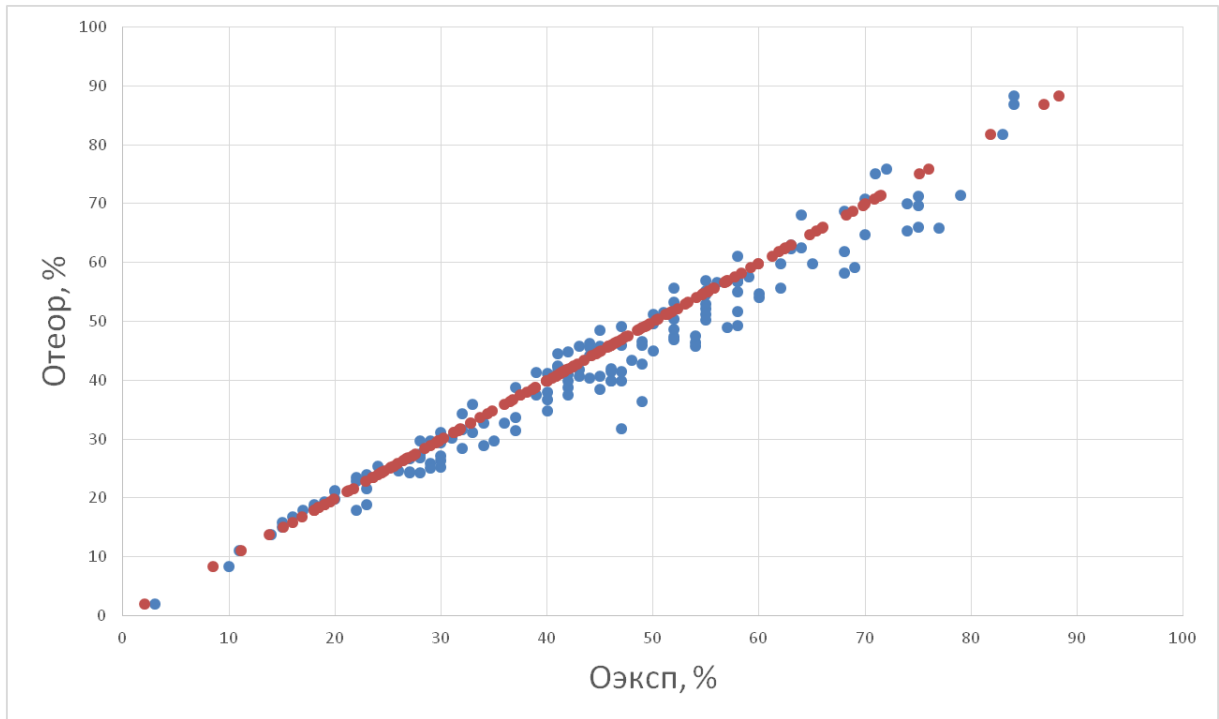


Рисунок 1 – Сопоставление результатов оценки процентного соотношения сердцевинной гнили в опытных образцах по методу Отсу (t+sk) с экспериментальными значениями

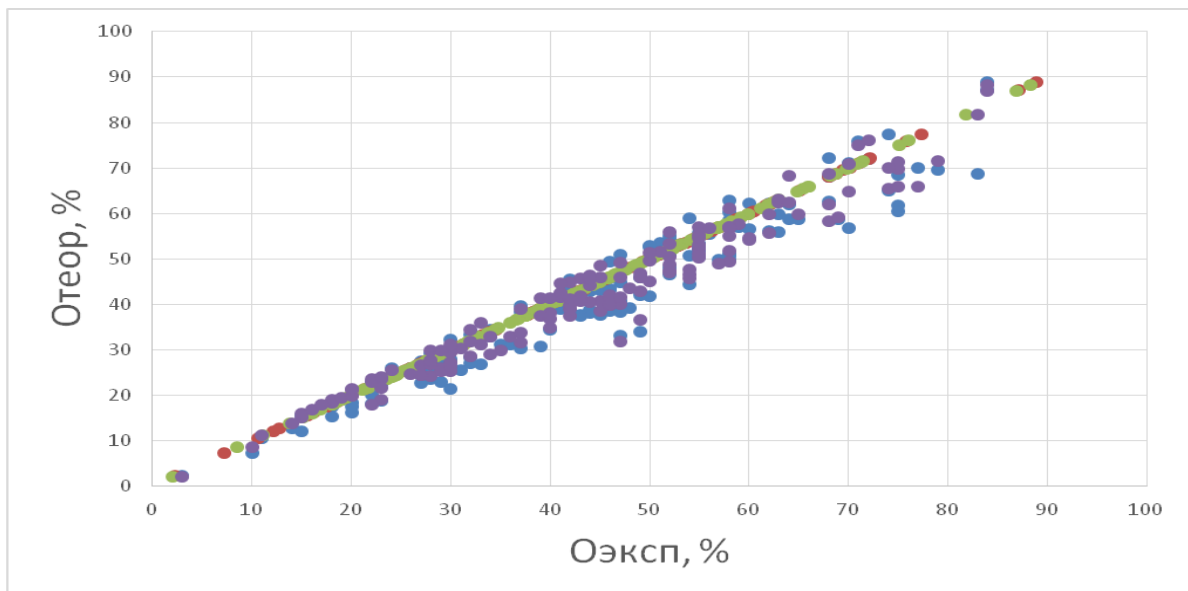


Рисунок 2 – Сопоставление результатов оценки процентного соотношения сердцевинной гнили в опытных образцах по методу Отсу с экспериментальными значениями

1) Наиболее близкие к расчетным значениям содержания сердцевинной гнили в процентах достигнуты при выбранном пороге яркости  $t+sk$ , как показано на рисунке 1. Разность в процентном соотношении в среднем 4,49%.

2) Согласно рисунку 3 можно выделить две зоны заготовок. Заготовки, не имеющие сердцевинной гнили, а также заготовки имеющие сердцевинную гниль. Заготовки сравнивались опытным путём, так как программа показывала значения содержания гнили в процентах менее 30%, для заготовок без сердцевинной гнили, пытаясь выделить в качестве гнили другие возможные дефекты в древесине, такие как сучки, инородные включения и другие, далее изображения проверялись визуально на наличие и отсутствие гнили, впоследствии заготовки раскалывались, чтобы достоверно определить наличие гнили. Так, опытным путем были определены следующие категории:

1. Затемненные области занимают от 0% до 25% заготовки – считать, что древесина не содержит сердцевинной гнили, но может содержать сучки, инородные включения, более плотное ядро и такая древесина относится к деловой древесине.

2. Затемненные области занимают 25-50% заготовки – считать, что древесина содержит сердцевидную гниль, которую возможно обработать, такая древесина относится к низкокачественной древесине.

3. Затемненные области занимают более 50% заготовки – считать, что древесина является дровяной.

### **5. Автоматизация процесса определения качества работы рубительной машины линии производства технологической щепы.**

В данной главе приводятся разработанные технологические схемы обработки низкокачественной древесины, с использованием рентгенотелевизионного оборудования, в качестве оборудования для сортировки и дефектоскопии древесины. Производится разделение технологических схем по объему перерабатываемой древесины на предполагаемом производстве на 250 тыс.м<sup>3</sup>, 500 тыс.м<sup>3</sup>, 1000 тыс.м<sup>3</sup> обрабатываемой древесины, а также разделение по выпускаемой продукции на окорённые и не окорённые сортименты, щепы и пиломатериалы (рис.3-5).

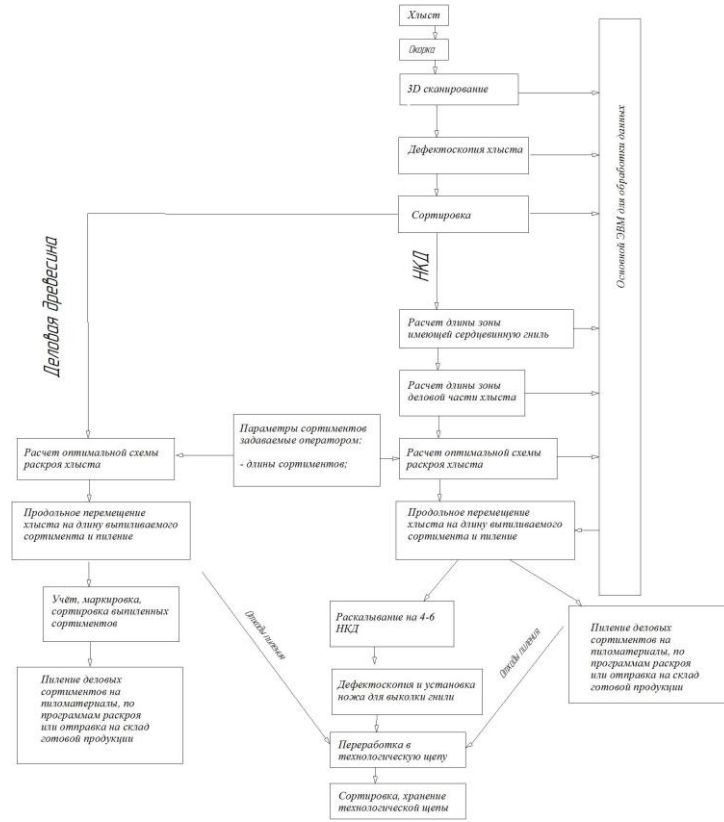


Рисунок 3. Блок схема автоматизированной системы раскрывки окоренных хлыстов с сердцевинной гнилью

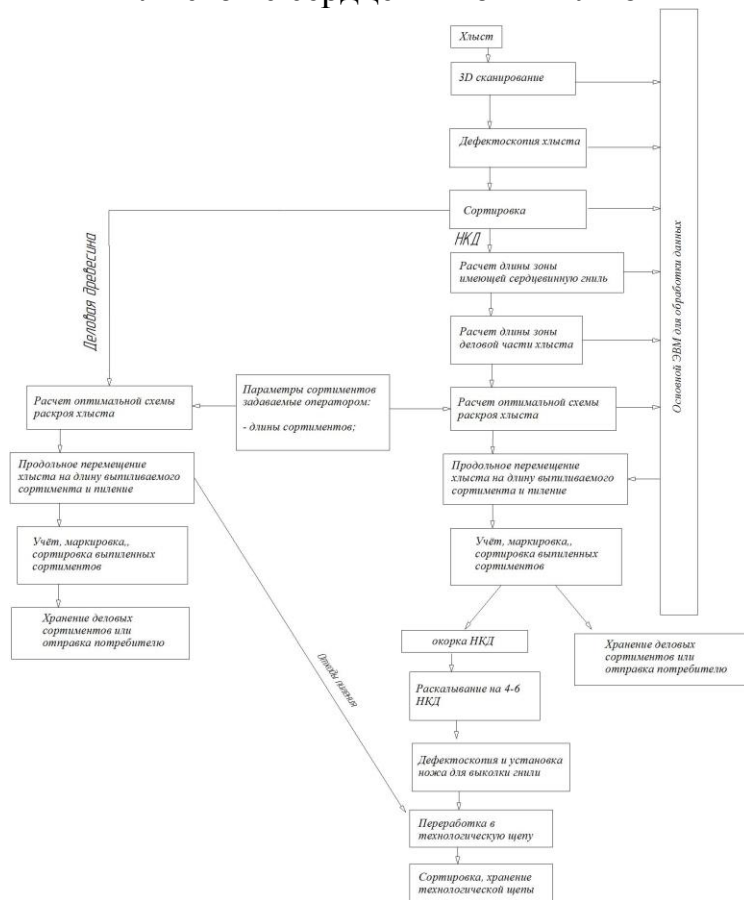


Рисунок 4. Блок-схема раскроя-раскряжевки хлыстов, имеющих сердцевинную гниль без предварительной окорки



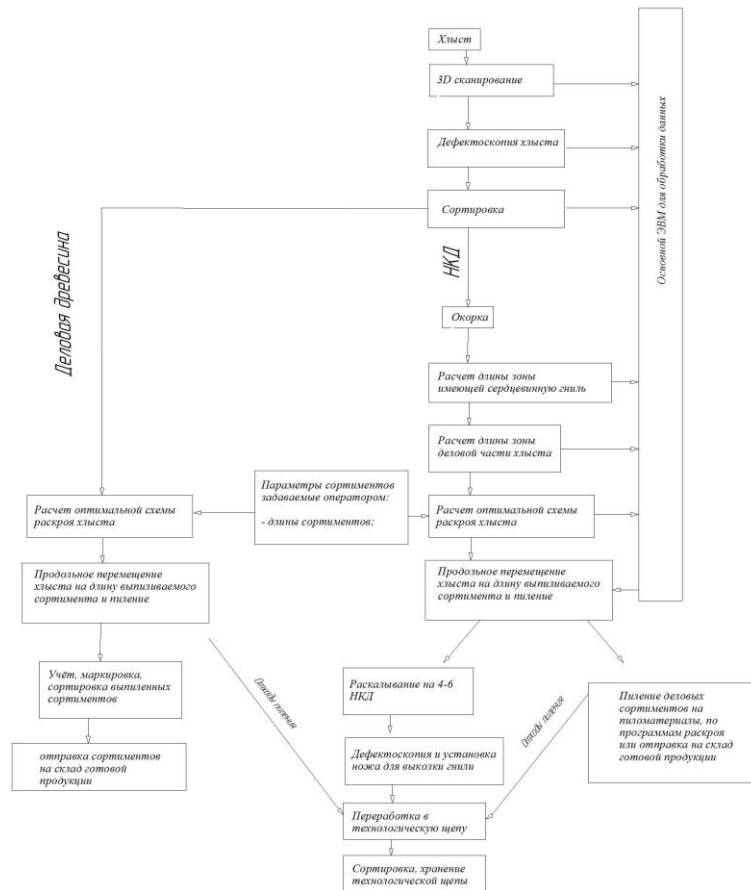


Рисунок 5. Блок-схема раскроя раскряжевки хлыстов, имеющих внутренние пороки с предварительной сортировкой

Приводятся пример использования портативно рентгенотелевизионный комплекс (далее ПРТК) в качестве дефектоскопа, используемого для работы совместно с харвестерной головкой.

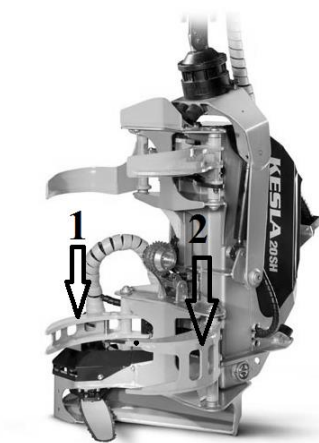


Рисунок 6. Изображение размещения ПРТК на харвестерной головке  
1 – Место установки экрана-детектора;  
2 – Место установки портативного рентгена

Отличительной частью работы системы харвестерной головки и ПРТК является то, что изображение, получаемое на ПРТК аналогично изображению, получаемому при работе со стационарным рентгентелевизионным оборудованием, соответственно разработанная программа и модель подходит для работы с системой харвестерная головка и ПРТК.

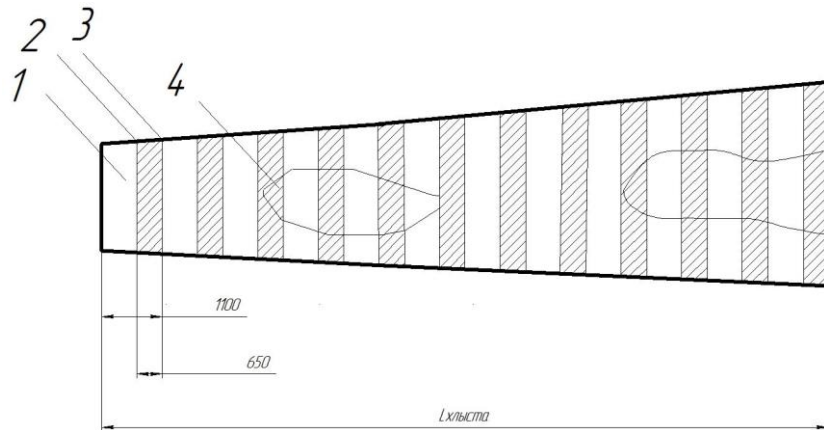


Рисунок 7. Схема дефектоскопии хлыста с использованием рентгентелевизионного оборудования:

1 – необрабатываемая зона; 2 – начала зоны обработки; 3 – конец зоны обработки; 4 – обрабатываемая зона

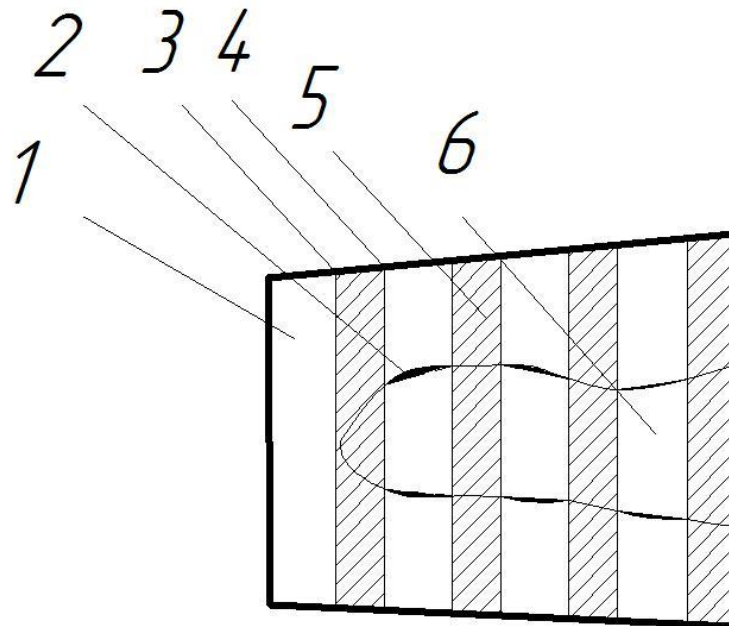


Рисунок 8. Схема построения линии между не обработанными зонами:

1 – зона необрабатываемой древесины; 2 – зона невыявленной гнили согласно построенной схеме; 3 – начало зоны дефектоскопии; 4 – конец зоны дефектоскопии; 5 – зона дефектоскопии; 6 – сердцевинная гниль

Производится оценка работы акустического импедансного метода дефектоскопии древесины, на примере работы акустического дефектоскопа

АД-60К. Анализируется принцип работы прибора, предлагаются схемы использования прибора.

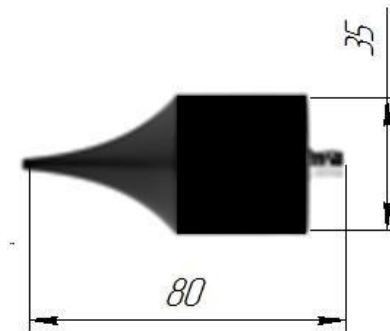


Рисунок 9. Предлагаемый импедансный датчик дефектоскопии древесины

На рис. 9 представлено изображение формы, предлагаемого к применению датчика совместно с дефектоскопией АД-60К, конусная форма датчика позволит устанавливать его на неокоренную древесину. Благодаря форме датчика обеспечивается плотное прилегание, так как он имеет форму иглы. Основной датчик прибора использоваться не может, так как имеет форму прямоугольника и не обеспечивает плотное прилегание. К прибору можно подключить не более 10 датчиков.

Древесина зачастую имеет различные пороки кривизны ствола, что не позволит легко применять импедансный метод. Предлагается создать "колесо" из оидроцилиндров на конце которых будет искомый датчик. Гидроцилиндрами возможно отрегулировать необходимое усилия для придавливания датчиков к стволу, а также увеличить скорость и автоматизировать процесс. "Колесо" из датчиков также располагается на гидроцилиндре, который также имеет момент вращения, для настройки датчиков по вертикали и горизонтали.

### **Общие выводы и рекомендации**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. С использованием рентгенотелевизионного оборудования, возможно выявлять сердцевинную гниль, а также автоматизировано производить операции сортировки, раскряжевки и выколки гнили.

2. Результаты исследования разработанного алгоритма по обработке образа с сердцевинной гнилью позволяют оценивать объем гнили в круглых лесоматериалах с использованием разработанных программ с точностью до 4,5% согласно методу Отсу и оптимальному порогу яркости  $t$ .

3. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований позволяет утверждать, что разработанные модели определения процентного содержания сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах адекватны объекту исследования и отличаются от теоретических в среднем на 4,9%.

4. Результаты проведения эксперимента доказывают возможность определения процентного соотношения сердцевинной гнили в круглых лесоматериалах с использованием предложенной математической модели, а также разработанной программы и предлагается следующая классификация:

4.1) Затемненные области занимают от 0% до 25% заготовки – считать, что древесина не содержит сердцевинной гнили, но может содержать сучки, инородные включения, более плотное ядро и такая древесина относится к деловой древесине.

4.2) Затемненные области занимают 25-50% заготовки – считать, что древесина содержит сердцевидную гниль, которую возможно обработать, такая древесина относится к низкокачественной древесине.

4.3) Затемненные области занимают более 50% заготовки – считать, что древесина является дровяной.

5. Разработанные технические решения, позволяют использовать портативную рентгенотелевизионную установку, установленную на харвестерную импульсную голову, для определения сердцевинной гнили на лесозаготовках, с учетом использования разработанной программы определения сердцевинной гнили.

6. Разработанные технологические решения, позволяют использовать предложенные схемы совместно с разработанными программами и модернизированной рентгенотелевизионной установки для повышения качества обработки круглых лесоматериалов, повысить качество подготовки круглых лесоматериалов для более глубокой переработки.

### Список работ автора по теме диссертации

*Публикации в рецензируемых научных изданиях:*

1. Grigorev I., **Frolov I.** et al. Non-destructive testing of internal structure of the low-quality wood // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. – Т. 10. № 1. – pp. 2104-2123.
2. **Фролов И.С.** Использование рентгенотелевизионного оборудования для дефектоскопии внутренних пороков круглых лесоматериалов // Лесотехнический журнал. – 2016. – №3. – С. 135-141.
3. **Фролов И.С.** Повышение выхода деловой древесины из круглых лесоматериалов с внутренней гнилью // Лесотехнический журнал. – 2016. – №2. С. 109-117.
4. **Фролов И.С.**, Бачериков И.В. Дефектоскопия внутренних пороков круглых лесоматериалов с использованием рентгенотелевизионного оборудования // Лесотехнический журнал. – 2016. – №3. – С. 141-147.
5. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Соколова В.А., Сергеевичев А.В., Орлов В.В., Бачериков В.И., **Фролов И.С.** Методы определения участков с ядровой гнилью для обеспечения рационального раскроя хлыстов // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – №2. – С. 116-120.

*Другие публикации:*

6. Фролов И.С., Бачериков И.В. Проблемы производства колотых балансов в России // Актуальные направления исследований XXI века: теория и практика. Воронеж. – 2014. – Том: 2. Номер: 5-4 (10-4). – С. 357-360.
7. Фролов И.С., Григорьев И.В., Тихонов И.И., Кухарева Д.С. Рациональный раскрой хлыстов с большой долей НКД // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы МНТК / Вологда: ВоГУ. – 2015. – С. 92-94.
8. Фролов И.С., Григорьев И.В., Тихонов И.И., Кухарева Д.С. Система оценки качества круглых лесоматериалов. // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы МНТК. Вологда: ВоГУ. – 2015. – С. 94-96.

*Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим высылать по адресу: 185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33. Ученому секретарю диссертационного совета Д 212.190.03 Воронову Р.В.*