

На правах рукописи



**Каргина Елена Викторовна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССОВОГО КРУПНО-  
ПОТОЧНОГО ЛЕСОПИЛЕНИЯ ПУТЁМ УПРАВЛЕНИЯ  
ДРОБНОСТЬЮ СОРТИРОВКИ БРЁВЕН ПО ТОЛЩИНЕ**

4.3.4. - Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства  
и переработки древесины

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Красноярск - 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» на кафедре технологии деревообработки, г. Красноярск.

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор  
**Ермолин Владимир Николаевич**

Официальные оппоненты:

**Рыкунин Станислав Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Тамби Александр Алексеевич**, доктор технических наук, доцент, генеральный директор ООО «ЛЕСТЕХ»

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Уральский  
государственный лесотехнический  
университет»

Защита состоится «19» апреля 2024 года в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета 24.2.403.03 в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева». 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, ауд. Ц-110 (зал заседаний).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, учёному секретарю диссертационного совета.

E-mail: dissovetsibgtu01@mail.ru

В отзыве указывается фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты, наименование организации и должность лица, представившего отзыв (п. 28 Положения о присуждении учёных степеней).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» и на сайте <https://sibsau.ru/defending/114/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Матыгулина Венера Нуруллоевна

## Общая характеристика работы

### **Актуальность темы исследования и степень её разработанности.**

Россия является крупной лесной державой. По объёму лесозаготовок и производству пиломатериалов она, как правило, входит в первую тройку стран мира. Традиционно высоко ценится отечественная отраслевая наука в области производства пиломатериалов. Наибольший вклад в её развитие внесли: Фельдман Х. Л., Шапиро Д. Ф., Песоцкий А. Н., Гутерман М. Н., Титков Г. Г., Залгаллер В. А., Власов Г. Д., Грачёв А. В., Канторович Л. В., Аксёнов П. П., Батин Н. А., Калитеевский Р. Е., Ветшева В. Ф., Турушев В. Г., Соболев И. В., Фергин В. Р., Розенблит М. С., Копейкин А. М., Рыкунин С. Н. и др. В результате отечественная лесопильная промышленность всегда достаточно успешно конкурировала с крупнейшими лесными державами мира. В СССР был впервые реализован системный подход при управлении производством пиломатериалов, проведена специализация предприятий и цехов по породам, размерам и качеству распиливаемого сырья и получаемых пиломатериалов, а также специализация отдельных потоков по типу применяемого оборудования и структуре получаемой продукции. Большое позитивное влияние на работу предприятий оказал пакетный метод обращения пиломатериалов. Стала широко внедряться технология лесопиления с окончательной торцовкой досок после камерной сушки. Лесоэкспортные предприятия оснащались поточными автоматизированными линиями. Успешно проводилась организационная перестройка лесопильных предприятий – применялось объёмно-календарное и оперативно-календарное планирование процессов раскроя брёвен, внедрялась автоматизированная система управления качеством пилопродукции.

Однако эффективность лесопильных предприятий с массовой крупно-поточной распиловкой повышалась не адекватно усилиям и достижениям российских учёных - лесопильщиков. Одной из причин этого, по мнению автора, является то, что большинство исследований ограничивалось анализом действующих и перспективных лесопильных производств без установления общих закономерностей формирования показателей эффективности лесопильных предприятий в зависимости от их технологических параметров. Наиболее спорным представляется использование объёмного выхода пиломатериалов в качестве основного критерия эффективности лесопильного производства. В результате учёным приходится ориентироваться на высокую дробность сортировки брёвен по толщине, хотя повышение дробности сортировки имеет экономические ограничения из-за возрастающих трудозатрат на участке подготовке сырья к раскрою. Производственники отдают явное предпочтение более грубой сортировке брёвен по толщине с низкой дробностью (через два – три чётных диаметра), видя громоздкость и затратность сортировки с высокой дробностью, и не обнаруживая ожидаемого повышения объёмного выхода пиломатериалов. Последнее, по мнению автора, объясняется в значительной

мере не учтённым случайным варьированием кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

Для разрешения отмеченных противоречий, которые существуют десятки лет и которые препятствуют созданию новых и реконструкции действующих лесопильных предприятий с научно обоснованной структурой и параметрами, необходимо провести исследования влияние дробности сортировки брёвен по толщине на эффективность лесопильного производства. Установить взаимосвязь между тремя важнейшими показателями лесопильного производства: дробностью сортировки брёвен по толщине, объёмным выходом пиломатериалов, экономической эффективностью лесопильного производства. Определить принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине.

**Поэтому целью данной диссертационной работы** является повышение эффективности массового крупно-поточного лесопиления путём управления дробностью сортировки брёвен по толщине с использованием общих закономерностей формирования показателей лесопильных предприятий, учитывающих вероятностный характер размеров, формы и точности базирования брёвен.

**Для реализации этой цели определены следующие задачи исследований.**

1. Развить теорию раскроя брёвен на пиломатериалы с установлением зависимостей показателей эффективности лесопильных предприятий от характеристик сырья и процессов его раскроя с учётом случайной изменчивости толщины, кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

2. Разработать математическую модель, связывающую случайные характеристики брёвен и процессов их раскроя с объёмным выходом пиломатериалов и рентабельностью лесопильного производства.

3. Разработать алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов, включающий: блок автоматического проектирования оптимальных и рациональных поставов; блок генерирования партии брёвен с вероятностными геометрическими характеристиками; блок распиловки брёвен с оптимизацией операций торцовки и обрезки досок.

4. Провести имитационные исследования процессов раскроя брёвен с учётом случайной изменчивости их размеров и формы.

5. Найти зависимости рентабельности лесопильного производства и объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки пиловочного сырья по толщине с учётом случайного варьирования кривизны и эллиптичности брёвен, а также их самопроизвольного смещения относительно центра постава пил.

6. Разработать принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке.

**Теоретическая значимость работы и её научная новизна** заключается в том, что автором впервые разработана математическая модель, связывающая вероятностные характеристики брёвен и процессов их

массового крупно-поточного раскроя с объёмным выходом пиломатериалов и рентабельностью их производства. Получен алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов. Установлены закономерности влияния дробности сортировки пиловочного сырья по толщине, случайного варьирования кривизны и эллиптичности брёвен, а также их самопроизвольного смещения относительно центра постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность лесопильного производства.

**Практическая значимость.** Сделан принципиальный вывод о том, что объёмный выход пиломатериалов не может являться доминирующим показателем эффективности всего лесопильного производства. Его нецелесообразно применять в качестве критерия оптимальности структуры и параметров производственного процесса. В частности, в качестве критерия оптимальности дробности сортировки брёвен по толщине следует использовать не объёмный выход пиломатериалов, как это было ранее, а рентабельность производства.

Сформулированы принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке с учётом вероятностной природы формы бревна и точности его базирования. Определена оптимальная дробность сортировки брёвен по толщине по критерию экономической эффективности лесопильного производства для различных условий его функционирования. Действующие в Красноярском крае лесопильные предприятия с массовой крупно-поточной технологией используют дробность сортировки пиловочного сырья по диаметрам в соответствии с рекомендациями данной работы.

**Методология и методы исследования** базируются на имитационном моделировании и оптимизации массового крупно-поточного производства пиломатериалов. В качестве конкурирующих критериев оптимизации процесса распиловки брёвен используется объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства. Основным объектом исследований и оптимизации является дробность сортировки брёвен по толщине. В качестве ограничений выступают случайные характеристики формы и размеров брёвен, а также процессов их раскроя.

**Положения, выносимые на защиту:**

- математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по толщине при массовом крупно-поточном производстве пиломатериалов по критерию максимизации его рентабельности с учётом вероятностного характера геометрических характеристик брёвен и процессов их раскроя;
- алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с воспроизведением случайной изменчивости размеров и формы распиливаемых брёвен;
- закономерности влияния толщины, кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства;

- зависимости объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом случайной кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен;
- принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке с учётом вероятностной природы формы бревна и точности его базирования;
- значения оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине по критерию рентабельности лесопильного производства для различных условий его функционирования.

**Личный вклад автора** состоит, в основном, в том, что он сформулировал проблему повышения эффективности крупно-поточного лесопиления, заключающуюся в необоснованно жёстких требованиях к дробности сортировки брёвен по толщине по причине использования единственного критерия оптимальности – объёмного выхода пиломатериалов. Разработал двухкритериальную математическую модель и алгоритм оптимизации сортировки брёвен по толщине. Провёл имитационные исследования процесса лесопиления и сформулировал рекомендации для промышленности.

**Степень достоверности полученных результатов.** Положения, выносимые на защиту, базируются на многократно проверенных на практике теоретических основах лесопиления и на имитационных исследованиях лесопильного производства. Имитационная модель исследована на адекватность, проведена верификация модели и валидация данных с оценкой её точности, устойчивости и чувствительности. Имитационные исследования процесса производства пиломатериалов воспроизводят случайную изменчивость размеров и формы распиливаемых брёвен, установленную опытным путём многими учёными и подтверждённую специальными исследованиями автора. Результаты исследований достаточно хорошо сочетаются с устойчивыми показателями отечественных и зарубежных лесопильных предприятий. В частности, они впервые объясняют, почему реальный объёмный выход пиломатериалов отличается от расчётного его значения на весьма значительную величину – до 10 % и более. Полученные зависимости рентабельности производства от дробности сортировки брёвен по толщине вполне соответствуют сложившейся практике снижения дробности сортировки брёвен до двух - трёх чётных диаметров вопреки рекомендациям отраслевой науки.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались на всероссийских научно-практических конференциях с международным участием: «Молодые учёные в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2017, 2019); «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения» (Красноярск, 2000, 2017, 2019, 2021).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 32 работы, в том числе, WoS - 1 статья, SCOPUS - 2 статьи, в журналах перечня ВАК - 17 статей, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – 1.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, семи разделов, заключения, списка литературы из 141 наименования. Объём работы составляет 200 страниц машинописного текста, в том числе 106 рисунков и 54 таблицы.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности 4.3.4.-** Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины. Настоящая диссертация соответствует п. 4 «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах».

### Основное содержание работы

**В первом разделе** диссертации проведён анализ структуры и параметров лесопильного предприятия с технологией массового крупно - поточного производства пиломатериалов. Показано, что участок подготовки сырья к раскрою является важнейшим, поскольку на нём базируется весь дальнейший процесс производства пиломатериалов. При этом первостепенное значение для гармоничности и эффективности всех цехов и участков лесопильного производства имеет дробность сортировки брёвен по толщине. Поэтому именно дробность сортировки брёвен по толщине выбирается в качестве основного предмета исследований для данной диссертационной работы.

**Во втором разделе** диссертации предложен вариант развития теории раскроя брёвен на пиломатериалы с установлением зависимостей показателей эффективности лесопильных предприятий от характеристик сырья и процессов его раскроя с учётом случайной изменчивости кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен. Разработана математическая модель оптимизации процессов торцовки и обрезки боковых досок

$$\begin{aligned}
 F &= (L - X_1) h_i (S(2(d_n + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \\
 & (L - l_i) + (d_n + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i)^* \\
 & (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2) (S(2(d_n + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + \\
 & (d_n + X_2 + (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} \rightarrow \text{MAX} \\
 & \quad \quad \quad (X_1) \\
 0 &\leq X_1 \leq (L - l_{\min}); (X_1 - \text{дискретная координата торцовки}) \\
 (L - X_1) &\in \{l_{\text{ст}}\} \\
 F(L - X_1)^{-1} &\in \{b_{\text{ст}}\}, \tag{1}
 \end{aligned}$$

где  $d_n, L, S$  – номинальный диаметр, длина и сбеги бревна;  
 $h_i$  – толщина доски (устанавливается при генерации постава);  
 $l_i, l_{\min}$  – длина и минимальная длина доски;  
 $\{l_{\text{ст}}\}, \{b_{\text{ст}}\}$  – множества стандартных длин и ширин досок;  
 $E_i$  – расход ширины постава;  $n$  – номер прохода;

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_4$ , – координата места торцовки, случайные отклонения диаметра, эллиптичности, смещения и кривизны бревна.

Используя полученную математическую модель, сначала определяется ширина не обрезной доски посередине её вогнутой части с учётом случайного сбега, эллиптичности, кривизны и поперечного смещения бревна, то есть, определяется ширина в той части доски, где в наибольшей степени сказывается кривизна бревна. Назовём этот участок доски горловиной. Затем, для  $X_1 = 0$  определяется длина  $l_1 = L - X_1$ , ширина  $b_1$  и площадь пласти  $b_1 * l_1$  обрезной доски полной длины. Если доска «проходит через горловину», то  $X_1$  увеличивается на один, достаточно малый шаг. В результате доска укорачивается и соответственно уширяется. Площади досок сравниваются. Таким образом, выбираются оптимальные размеры стандартной обрезной доски, которая «проходит через горловину». Если доска минимальной стандартной ширины «не проходит через горловину», то доска раскраивается поперёк с удалением вершинной части. Процедура поиска оптимальных размеров доски продолжается для оставшейся комлевой части доски.

Толщина бревна, эллиптичность, смещение и кривизна воспроизводятся с помощью переменных  $X_2, X_3, X_4, X_5$  путем использования специально настроенных генераторов случайных чисел.  $X_2$  – варьируется по равновероятному закону, остальные – по нормальному закону. Пределы варьирования указаны в ограничениях математической модели (2).

Используя средние по отрасли устойчивые характеристики работы предприятий с массовой крупно-поточной технологией, введено понятие лесопильного производства с базовыми характеристиками: сортировка брёвен по толщине через 2 чётных диаметра без сортировки по длинам; раскрой брёвен с использованием двухтолщинных рациональных поставов; сортировка пиломатериалов по толщине и ширине; камерная сушка пиломатериалов до транспортной влажности; окончательная торцовка пиломатериалов после сушки с градацией 0,3 м; сортировка досок по качеству и длинам; пакетирование товарных пиломатериалов; представление себестоимости пилопродукции, состоящей из сырьевых затрат (СЗ), учитывающих только стоимость брёвен, и несырьевых затрат (НСЗ), объединяющих все остальные её статьи; доля сырьевых затрат  $D_{СЗ}^b = 0,8$ ; НСЗ на каждом участке технологического процесса прямо пропорциональны количеству сортировочных групп; НСЗ между участками производственного процесса распределяются следующим образом: подготовка сырья к раскрою – 0,186; обработка сырых пиломатериалов – 0,214; пакетирование, сушка, окончательная обработка пиломатериалов – 0,330; прочие операции – 0,270; уровень рентабельности базового варианта  $RE_b = 0,13$ .

Для перехода от базового к исследуемому  $jj$  варианту ввели переходные коэффициенты и получили математическую модель двухкритериальной оптимизации дробности сортировки по диаметрам для максимизации рентабельности лесопильного производства.

$$\left\{ \begin{aligned}
RE_{jj} &= \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_1) h_i (S(2(d_H + X_2 - (-1)^n X_3) + SL) * \right. \right. \\
&(L - l_i) + (d_H + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \\
&(1 - \exp(-(L - l_i)/L)))^2) (S(2(d_H + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + \\
&(d_H + X_2 + (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \left. \right\} * \\
&\{SE_b D_{c3} + SE_b(1 - D_{c3}) (Y_1 DR_b / X_2 + Y_2 KT_{jj} / KT_b + Y_3 * \\
&GR_b / GR_{jj} + Y_4)\}^{-1} - 1 \rightarrow \frac{MAX}{(X_2)} \\
\Omega &= \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_1) h_i (S(2(d_H + X_2 - (-1)^n X_3) + SL) * \right. \right. \\
&(L - l_i) + (d_H + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i * \\
&(1 - \exp(-(L - l_i)/L)))^2) (S(2(d_H + X_2 + (-1)^n X_3) + SL) * \\
&(L - l_i) + (d_H + X_2 + (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \left. \right\} * \\
100 \left( \sum_{k=1}^{1000} V_k \right)^{-1} &\rightarrow \frac{MAX}{\{h_i E_i\}} \\
0 \leq X_1 &\leq (L - l_{\min}), \\
(L - X_1) &\in \{l_{CT}\}, \\
F(L - X_1)^{-1} &\in \{b_{CT}\} \\
X_2 = (-1 \dots 1)X_{2cp}; & X_{2cp} \in \{2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ мм}\} \\
X_3 = (0 \dots 2)X_{3cp}; & X_{3cp} \in \{0; 2; 4; 6; 8; 10 \text{ мм}\} \\
X_4 = (-1 \dots 1)X_{4max}; & X_{4max} \in \{0; 5; 10; 15; 20 \text{ мм}\} \\
X_5 = (0 \dots 2)X_{5cp}; & X_{5cp} \in \{0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 \%\}, (2)
\end{aligned} \right.$$

где  $RE_{jj}$ ,  $\Omega$  - рентабельность и объёмный выход пиломатериалов;

$i$ ,  $m_j$  - порядковый номер боковой доски и их количество в  $j$ -ом расчёте поставы;

$j$  - номер расчёта боковых зон поставы (1-4 - правой, левой зоны на первом и втором проходе);

$\{h_i, E_i\}$  - постав;

$ii$ ,  $m2$  - порядковый номер и количество досок из пропиленной части бруса;

$k, V_k$  – номер и объём бревна;  
 $Y_1$  – доля затрат на участке подготовки сырья к распиловке (0,186);  
 $DR_b$  – базовая дробность сортировки брёвен по толщине (по двум чётным диаметрам;  $DR_b = 20$ );  
 $X_2$  – дробность сортировки брёвен по толщине по  $jj$ -му варианту;  
 $Y_2$  – доля затрат на участке обработке сырых пиломатериалов (0,214);  
 $KT_b$  – количество толщин досок в поставе по базовому варианту (2);  
 $KT_{jj}$  – количество толщин досок по  $jj$ -му варианту;  
 $Y_3$  – доля трудозатрат на участке окончательной обработки пиломатериалов после сушки (0,330);  
 $GR_b$  – базовая градация длин досок (0,3 м);  
 $GR_{jj}$  – градация длин досок по  $jj$ -му варианту;  
 $Y_4$  – доля затрат на остальных участках (0,270).

**В третьем разделе** разработан алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с воспроизведением случайной изменчивости размеров и формы распиливаемых брёвен.

Основным блоком алгоритма является блок автоматического проектирования оптимальных и рациональных поставов методом полного перебора. Для воспроизведения реальной природной изменчивости формы и размеров брёвен, предусмотрен блок генерирования партии брёвен заданного объёма и требуемых геометрических характеристик. Алгоритм в своём составе имеет блок раскроя брёвен с оптимизацией операций торцовки и обрезки боковых досок с помощью выражения (1).

Для определения рентабельности лесопильного предприятия используется имитация сырьевых и несырьевых затрат при производстве пиломатериалов в зависимости от управляемых технологических параметров.

**В четвёртом разделе** получены зависимости объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине без учёта случайной изменчивости их формы и ориентации относительно постава пил.

Показано, что уменьшение дробности сортировки брёвен по толщине до двух чётных диаметров вызывает изменения объёмного выхода и рентабельности производства с различными знаками (рисунок 1): объёмного выхода со знаком минус, а рентабельности - со знаком плюс. Отсюда следует принципиально важный вывод – объёмный выход пиломатериалов не может являться главным показателем эффективности всего лесопильного производства, даже когда стоимость сырья в себестоимости пиломатериалов достигает 80 %.

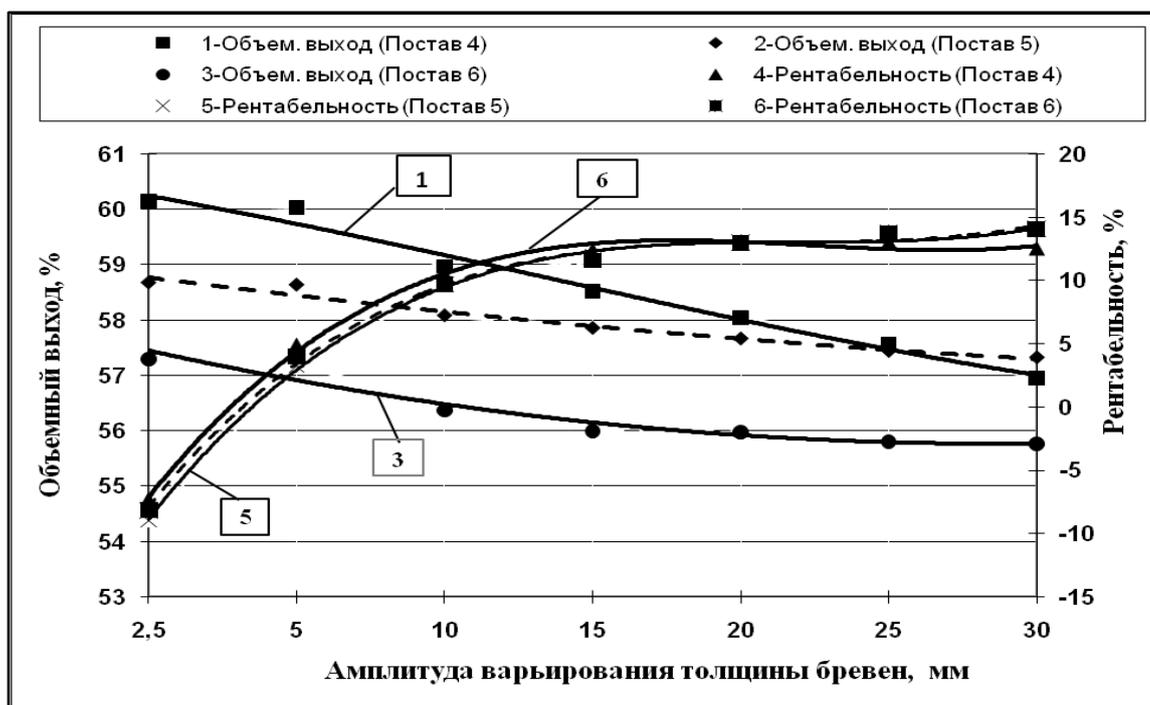


Рисунок 1 – Зависимость рентабельности лесопильного производства и объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна в распиловочной партии 22 см / 5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Установлено, что характер зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна (рисунок 2) практически не изменяется при весьма существенном варьировании доли затрат  $g_1$  на участке подготовки сырья к раскрою (от 0,136 до 0,236). Исключение составляют два варианта - чисто теоретический вариант организации производственного процесса с долей затрат на участке подготовки сырья к раскрою, равной 0,036, то есть в 5 раз меньшей, чем средняя по отрасли. Для этого варианта оптимальной является сортировка брёвен с точностью  $\pm 5$  мм (финский вариант). И вариант с долей затрат, равной 0,336, то есть почти в 2 раза большей, чем средняя по отрасли. Для этого варианта максимальная рентабельность достигается при сортировке брёвен с точностью  $\pm 30$  мм (через три чётных диаметра).

Показана нецелесообразность оперирования абсолютными значениями рентабельности. Зависимость рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщин брёвен в приращениях (в относительных единицах) практически не зависит от базовой рентабельности. Поэтому, при использовании рентабельности в приращениях, базовые (среднеотраслевые) характеристики лесопильного производства выполняют функции только стартового варианта при итерационных исследованиях и тогда полученные результаты имеют общий характер.

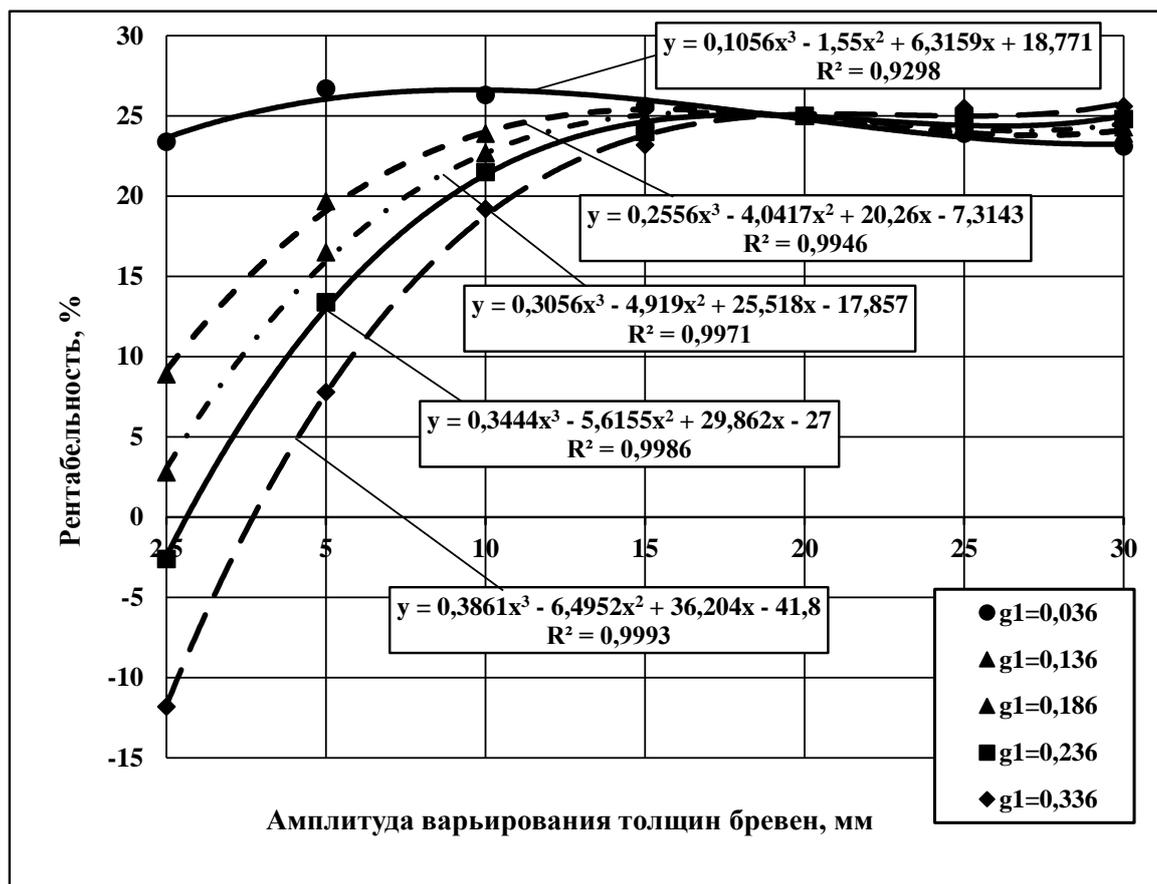


Рисунок 2 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при различных значениях доли затрат g1 на участке подготовки сырья к раскрою

**В пятом разделе** исследовано влияние вероятностных характеристик формы бревна и его ориентации относительно поставки пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельности их производства. В результате установлен рейтинг причин отклонения «в минус» фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного его значения. Для номинальной толщины бревна 22 см, являющейся средней по отрасли при массовой крупно-поточной распиловке, он имеет с учётом эффективности поставок следующий вид.

1. Кривизна бревна: 4,05...6,36 %;
  2. Сортировка по толщине бревна: 1,32...2,11 %;
  3. Эллиптичность бревна: 0,93...1,13 %;
  4. Базирование бревна: 0,05...0,15 %..
- Общее снижение: 6,55...9,55 %.

Рентабельность лесопильного производства изменяется следующим образом: при увеличении средней эллиптичности брёвен от 0 до 6 мм рентабельность снижается на 0,8...2,3 %, при изменении средней кривизны от 0 до 0,25 % - на 2,7...5,8 %, при случайном смещении брёвен с амплитудой 10 мм - на 0,1- 0,2 %.

В шестом разделе установлены зависимости объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом случайной изменчивости их формы и ориентации относительно постава пил.

На рисунках 3, 4, 5 представлены, в качестве примера, наиболее характерные графики полученных зависимостей.

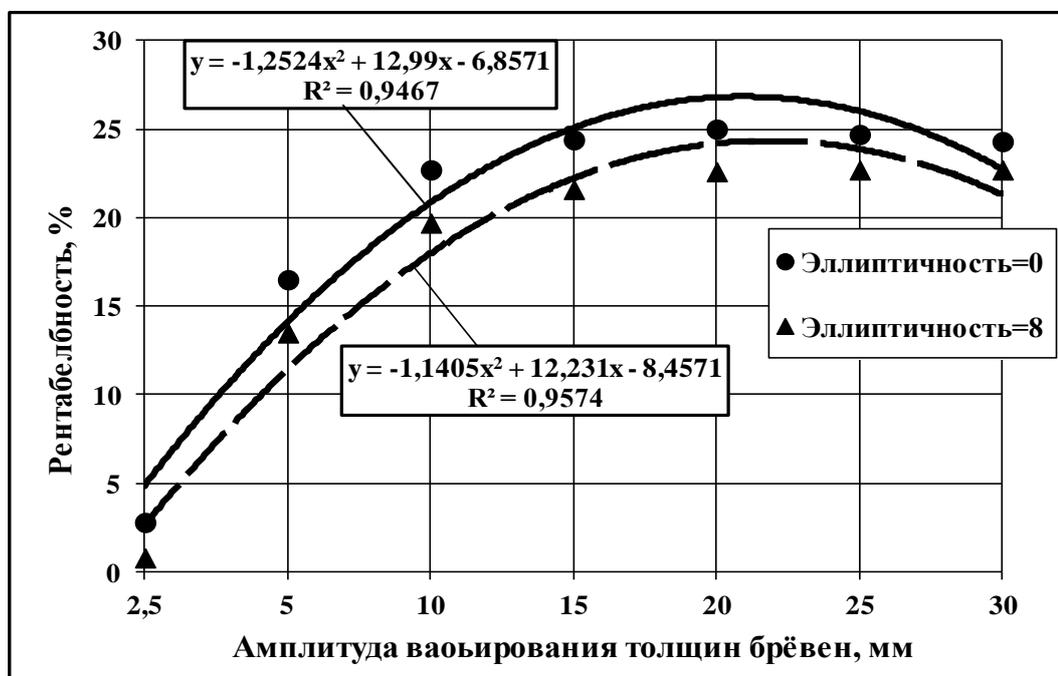


Рисунок 3 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 0; 8 мм

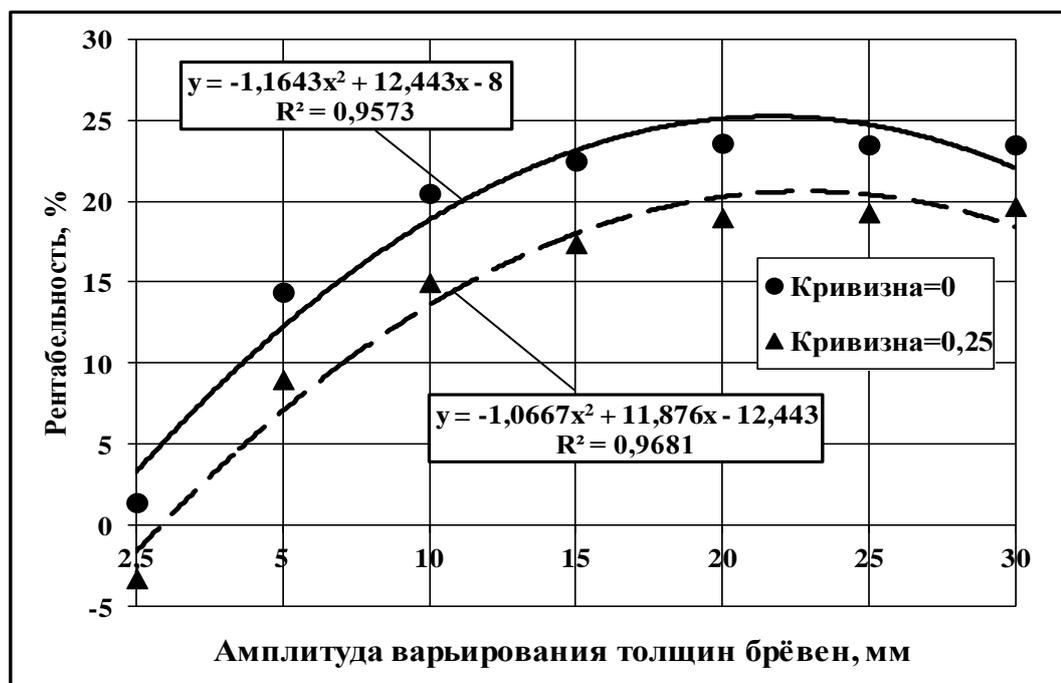


Рисунок 4 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм и кривизне 0 и 0,25 %

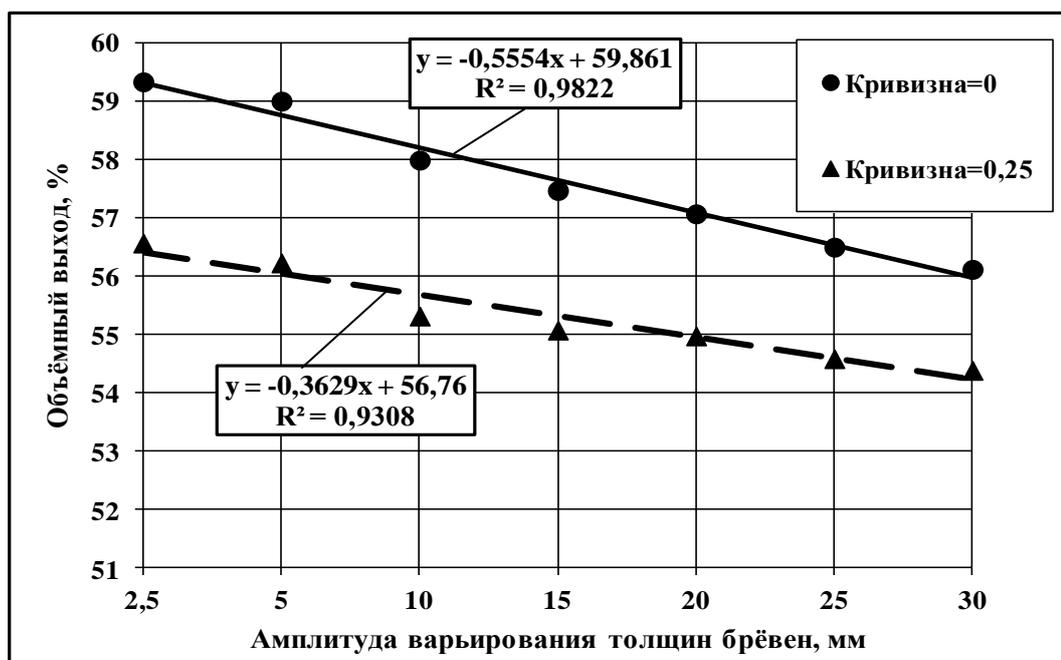


Рисунок 5 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм и при средней кривизне 0 и 0,25 %

Исследования показали, что с увеличением средней эллиптичности от 0 до 8 мм, либо средней кривизны от 0 до 0,25 %, либо средней амплитуды смещения от 0 до 10 мм максимум рентабельности смещается вдоль оси абсцисс от амплитуды варьирования диаметров брёвен 20 мм к амплитуде 30 мм (от дробности сортировки брёвен по толщине по двум чётным диаметрам к дробности сортировки по трём чётным диаметрам).

**В седьмом разделе** сформулированы принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке. Доказано, что оптимальная дробность лежит между сортировкой по двум и сортировкой по трём чётным диаметрам. Конкретное значение оптимума зависит от толщины, длины, эллиптичности, кривизны и точности базирования брёвен, от стоимости сырья; от затрат на производство пиломатериалов и от распределения этих затрат по стадиям технологического процесса, а также от других факторов биологического, технологического и организационно - экономического характера.

При увеличении номинальной толщины и длины бревна в распиловочной партии и снижении качества поставка максимум рентабельности имеет тенденцию смещаться вдоль оси абсцисс от дробности сортировки брёвен по двум чётным диаметрам к дробности сортировки по трём чётным диаметрам.

При доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6 экономически нецелесообразно сортировать брёвна менее, чем через три чётных диаметра, то есть, чем дешевле сырьё и чем дороже его обработка, тем с меньшей точностью его следует сортировать.

Следовательно, при подготовке высококачественного пиловочного сырья к массовой распиловке с использованием современных технологий и оборудования его следует сортировать по толщине через два чётных диаметра.

При распиловке брёвен с существенными дефектами формы, при использовании оборудования с низким качеством базирования и неоптимальных поставов сортировать брёвна следует через три чётных диаметра.

Рентабельность лесопильного производства следует использовать в качестве критерия его эффективности в основном на стадии создания производственного процесса лесопильного предприятия или его функционального переформатирования.

При оперативном планировании процессов раскрытия пиловочного сырья на пилопродукцию основным показателем лесопильного производства остаётся объёмный выход пиломатериалов. Он также является весьма важным показателем технологического уровня предприятия.

При распиловке брёвен с дефектами формы неоптимальными поставками на оборудовании с несовершенной системой базирования сортировка брёвен по толщине как способ повышения объёмного выхода пиломатериалов не имеет смысла.

### **Заключение**

1 Разработана математическая модель оптимизации поставов при массовом крупно-поточном производстве пиломатериалов по критерию максимизации объёмного выхода пиломатериалов.

2 Разработана двухкритериальная математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по толщине по критериям максимизации рентабельности производства и объёмного выхода пиломатериалов.

3 Математические модели объединяют в единую аналитическую систему объёмный выход пиломатериалов, рентабельность производства, систему поставов, дробность сортировки брёвен по толщине и вероятностные геометрические характеристики брёвен.

4 Разработан алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с целью определения оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине.

5 Установлены закономерности снижения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства при случайном варьировании кривизны (соответственно, на 4,05...6,36 % и на 2,7...5,8 %, эллиптичности (0,93...1,13; 0,8...2,3) и точности базирования брёвен (0,05...0,15; 0,1...0,2).

6 Определена оптимальная дробность сортировки брёвен по толщине по критерию рентабельности лесопильного производства для различных условий его функционирования:

- при подготовке качественного пиловочного сырья к массовой распиловке с использованием современных технологий и оборудования его следует сортировать по толщине через два чётных диаметра;

- с увеличением средней эллиптичности от 0 до 8 мм, средней кривизны от 0 до 0,25 %, средней амплитуды смещения от 0 до 10...20 мм оптимум дробности сортировки брёвен по толщине смещается от дробности по двум чётным диаметрам к дробности сортировки по трём чётным диаметрам.

7 Для дальнейшего повышения эффективности массового крупно-поточного лесопиления необходимы специальные дополнительные имитационные исследования с целью оптимизации количества толщин досок в поставе и градации их длин.

#### **Список работ, опубликованных автором, по теме диссертации:**

##### **В изданиях, индексируемых в базе данных WoS:**

1 Огурцов, В.В. Оптимизация дробности сортировки бревен по диаметру / В.В. Огурцов, Е.В. Каргина, И.С. Матвеева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.- 2021. -№1(379).- С. 150-158. (автора 0,44 п.л.).

##### **В изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS:**

2 Influence of sweep on the efficiency of sawing / V.V. Ogurtsov, D.N. Derevyannykh, E.V. Kargina, I.S. Matveyeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018. 2020. С. 012015. (автора 0,31 п.л.).

3 Dependence of saw timber volume output and production efficiency on logs ellipticity / V.V. Ogurtsov, D.N. Dereviannykh, E.V. Kargina, I.S. Matveeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018. 2020. С. 012016. (автора 0,31 п.л.).

##### **В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

4 Каргина, Е. В. Теоретические основы расчёта поставов для распиловки брёвен с пороками формы / Е. В. Каргина, И. С. Матвеева, В. В. Огурцов // Хвойные бореальной зоны. - 2011. - Т.28, №1-2. - С. 141-145. (автора 0,19 п.л.)

5 Алгоритм имитационных исследований экономической эффективности лесопильных предприятий / Е. В. Каргина, Л. Н. Ридель, И. С. Матвеева, В. В. Огурцов // Хвойные бореальной зоны. – 2011.- Т. 28, №1-2. - С. 146-153. (автора 0,31 п.л.).

6 Огурцов, В. В. Выбор критерия оптимизации лесопильного производства / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2013. - Т.31, №5-6. - С. 67-70. (автора 0,19 п.л.).

7 Огурцов, В. В. Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2013. - Т.31, №5-6. - С. 71-75. (автора 0,25 п.л.).

8 Огурцов, В. В. Дробность сортировки брёвен по толщине с учётом трудозатрат / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2015. - Т.33, №5-6. - С. 279-282. (автора 0,19 п.л.).

9 Огурцов, В. В. Влияние эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2015. - Т.33, №5-6. - С. 283-285. (автора 0,12 п.л.).

10 Огурцов, В. В. Влияние кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2016. - Т.34, №1-2. - С. 101-106. (автора 0,31 п.л.).

11 Огурцов, В. В. Влияние случайного смещения брёвен от центра постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2016. - Т.34, №1-2. - С. 107-110. (автора 0,19 п.л.).

12 Огурцов, В. В. Влияние кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2016. - Т.34, №3-4. - С. 133-137. (автора 0,25 п.л.).

13 Огурцов, В. В. Влияние сортировки бревен по толщине и их кривизны на эффективность производства пиломатериалов // В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны: теорет. и науч.-практ. журн. – 2017. – Т. 35, № 3-4. – С. 96-102. (автора 0,31 п.л.).

14 Огурцов, В. В. Зависимость объемного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки бревен по толщине с учетом их эллиптичности // В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны: теорет. и науч.-практ. журн. – 2017. – Том 35, № 3/4. – С. 103-109. (автора 0,31 п.л.).

15 Зависимость объемного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки бревен по толщине с учетом их кривизны и эллиптичности / В. В. Огурцов, Д. Н. Деревянных, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2018. Т. 36, № 1.- С. 18-23. (автора 0,31 п.л.).

16 Зависимость объемного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки бревен по толщине с учетом их смещения относительно центра постава пил / В. В. Огурцов, Д. Н. Деревянных, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2018. - Т. 36, № 2. - С. 180-184. (автора 0,25 п.л.).

17 Принципы установления дробности сортировки бревен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке жесткими поставами / В. В. Огурцов, Д. Н. Деревянных, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2019.- Т. 37, № 3-4.- С. 250-255. (автора 0,37 п.л.).

18 Огурцов, В. В. Зависимость выхода пилопродукции от точности подборки пиловочника по диаметрам с учетом его длины / В. В. Огурцов,

Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны.- 2021.- Т. 39, № 4.- С. 300-306. (автора 0,37 п.л.).

19 Огурцов, В. В. Влияние толщины и длины бревна на зависимость объемного выхода пиломатериалов от количества их толщин в поставе / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2023. - Т.XLI, №3. - С. 252-256. (автора 0,13 п.л.).

20 Огурцов, В. В. Зависимость объемного выхода пиломатериалов от количества их толщин в поставе / В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. - 2023. - Т.XLI, №3 - С. 257-261. (автора 0,13 п.л.).

**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:**

21 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615223 Российская Федерация. Программа для имитационных исследований рентабельности лесопильного производства с учётом случайной изменчивости их формы и размеров раскраиваемых брёвен: № 2011615223: заявл.16.05.2011:опубл. 04.07.2011/Каргина Е.В., Матвеева И.С., Огурцов В.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Сибирский государственный технологический университет».-1с. (автора 0,05 п.л.).

**В сборниках и материалах конференций:**

22 Каргина, Е. В. Закономерности формирования трудозатрат в лесопилении / Е. В. Каргина, В. В. Огурцов, И. С. Матвеева // Проблемы химико-лесного комплекса: сб. тез. докл. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых.- Красноярск, 2000. - С. 284-285. (автора 0,06 п.л.).

23 Каргина, Е. В. Оценка лесопильных производств с учетом трудоемкости / Е. В. Каргина, В. В. Огурцов, И. С. Матвеева // Проблемы химико-лесного комплекса: сб. тез. докл. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. -Красноярск, 2000. - С. 301-302. (автора 0,06 п.л.).

24 Огурцов, В. В. Зависимость эффективности лесопильных предприятий от дробности сортировки брёвен по толщине / В. В. Огурцов, И. С. Матвеева, Е. В. Каргина // Достижения науки и техники - развитию сибирских регионов: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.- Красноярск, 2000. - Ч. II. - С. 256-257. (автора 0,06 п.л.).

25 Зависимость показателей эффективности лесопильного производства от эллиптичности брёвен / О. А. Усольцев, А. А. Огурцов, Е. В. Каргина, В. В. Огурцов и др. // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых.-Красноярск, 2017.- С. 278-280. (автора 0,1 п.л.).

26 Фактор стоимости сырья при оптимизации дробности его сортировки по толщине / О. А. Усольцев, В. В. Огурцов, Е. В. Каргина, И. С. Матвеева // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- Красноярск, 2017.-С. 315-317. (автора 0,1 п.л.).

27 Зависимость эффективности лесопиления от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом трудозатрат / О. А. Усольцев, А. А. Огурцов, Е. В. Каргина, В. В. Огурцов и др. // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых.- Красноярск, 2017.- С. 275-277. (автора 0,1 п.л.).

28 Влияние сортировки бревен по толщине на эффективность производства пиломатериалов / О. А. Усольцев, А. А. Огурцов, В. В. Огурцов, Е. В. Каргина и др. // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- 2019. С. 252-254. (автора 0,1 п.л.).

29 Зависимость дробности сортировки бревен по толщине от соотношения стоимости сырья и затрат на производство пиломатериалов / О. А. Усольцев, А. А. Огурцов, В. В. Огурцов, Е. В. Каргина и тд. // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- Красноярск, 2019.- С. 255-257. (автора 0,1 п.л.).

30 Каргина, Е. В. Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревен / Е. В. Каргина, А. В. Огурцов, С. В. Горбунова, И. С. Матвеева и др. // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- Красноярск, 2021.- С. 205-208. (автора 0,19 п.л.).

31 Зависимость рентабельности производства пиломатериалов от кривизны бревен / Е. В. Каргина, А. А. Огурцов, И. С. Матвеева, В. В. Огурцов // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- Красноярск, 2021.- С. 209-212. (автора 0,19 п.л.).

32 Зависимость объемного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревен / Е. В. Каргина, А. В. Огурцов, С. В. Горбунова, И. С. Матвеева и др. // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения: сб. материалов Всерос. научн.-практ. конф.- Красноярск, 2021.- С. 201-204. (автора 0,19 п.л.).

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Формат 60\*84/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано в редакционно-издательском центре

СибГУ им. М.Ф. Решетнева

660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82

тел. (391)222-73-28