

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева»

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

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Ермолин Владимир Николаевич

Красноярск - 2024

Оглавление

Введение.....	5
1 Состояние вопроса. Цель и задачи исследования	11
1.1 Структура и параметры лесопильного предприятия.....	11
1.2 Дробность сортировки брёвен по толщине	16
1.3 Цель и задачи исследования	20
2 Теоретические основы имитационных исследований лесопильных предприятий с учётом вероятностных характеристик сырья и процессов его раскрыя на пилопродукцию	22
2.1 Общие положения и предпосылки	22
2.2 Теоретические основы имитации процесса раскрыя брёвен с пороками формы	23
2.3 Выводы.....	30
3 Алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с воспроизведением случайной изменчивости размеров и формы распиливаемых брёвен.....	32
4 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине без учёта случайной их формы и ориентации относительно постава пил	46
4.1 Общие методические положения	46
4.2 Фактор номинальной толщины брёвен.....	48
4.3 Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства как конкурирующие критерии оптимальности лесопильного производства	57
4.4 Фактор соотношения стоимости сырья и затрат на производство пиломатериалов	58
4.5 Фактор длины бревна.....	62

4.6 Базовые характеристики производства пиломатериалов.....	71
4.7 Фактор распределения затрат по стадиям производственного процесса пиломатериалов	76
4.8 Выводы.....	79
5 Влияние вероятностных характеристик формы бревна и его ориентации относительно постова пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельности их производства	84
5.1 Общие методические положения	84
5.2 Влияние эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства	85
5.3 Влияние кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства	97
5.4 Влияние кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства.....	109
5.5 Влияние смещения бревна от центра постова пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства.....	123
5.6 Рейтинг причин отклонения фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного значения.....	136
5.7 Выводы.....	139
6 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом случайной их формы и ориентации относительно постова пил	143
6.1 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их эллиптичности	144
6.2 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их кривизны	152

6.3 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их кривизны и эллиптичности	160
6.4 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их смещения относительно центра постава пил	164
6.5 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их эллиптичности, кривизны и смещения относительно постава пил	168
6.6 Выводы.....	171
7 Принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке.....	175
Заключение	182
Список литературы	184
Приложение А	200

Введение

Россия является крупной лесной державой. По объёму лесозаготовок и производству пиломатериалов она входит в первую тройку стран мира. Традиционно высоко ценится отечественная отраслевая наука в области лесопиления. Развитием теории и практики лесопиления занимались: 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. [1-64]. В результате отечественная лесопильная промышленность в течение многих десятилетий успешно конкурировала с ведущими лесными державами мира [17, 36, 104]. В СССР был впервые реализован системный подход при управлении производством пиломатериалов [21, 24, 36, 39, 41-44], проведена специализация предприятий и цехов по породам, размерам и качеству распиливаемого сырья [14, 26], а также специализация отдельных потоков по типу применяемого оборудования и структуре получаемой продукции [24, 74]. Громадное позитивное влияние на работу предприятий оказал пакетный метод обращения пиломатериалов [20, 104]. Стала широко внедряться технология лесопиления с окончательной торцовкой досок после камерной сушки [14, 21-26]. Лесоэкспортные предприятия оснащались поточными автоматизированными линиями [14, 24, 26]. Успешно проводилась организационная перестройка лесопильных предприятий – применялось объёмно-календарное и оперативно-календарное планирование процессов раскроя брёвен, внедрялась автоматизированная система управления качеством пилопродукции [41-44]. При создании нового отечественного оборудования использовалось агрегатирование

технологических операций, а при проектировании новых предприятий - блокирование цехов и участков [21].

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 влияния дробности сортировки брёвен по толщине на эффективность лесопильного производства. Установить взаимозависимость между тремя важнейшими показателями лесопильного производства: дробностью сортировки брёвен по толщине, объёмным выходом пиломатериалов, 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 формы, размеров и точности базирования брёвен.

Для реализации этой цели определены следующие задачи исследования.

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.

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

Разработать алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов, включающий блоки автоматического проектирования оптимальных и рациональных поставов, генерирования партии брёвен заданного объёма и требуемых геометрических характеристик, ориентации бревен относительно центра постава пил.

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

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.

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

Теоретическая и практическая значимость работы, а также её научная новизна заключается в том, что автором разработана математическая модель, связывающая характеристики брёвен и процессов их массового крупно-поточного раскроя с объёмным выходом пиломатериалов и рентабельностью их производства. Получен алгоритм и программа имитационных исследований эффективности процесса производства пиломатериалов. С помощью имитационных исследований установлены 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.

Сделан принципиальный вывод о том, что объёмный выход пиломатериалов не является показателем эффективности лесопильного производства. Его нецелесообразно применять в качестве критерия оптимальности структуры и параметров лесопильного производства. 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.

Проведённые исследования и полученные результаты 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.

Действующие в Красноярском крае лесопильные предприятия с массовой крупно-поточной технологией используют дробность сортировки пиловочного сырья по диаметрам в соответствии с рекомендациями данной работы.

На защиту выносятся:

- 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 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 кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен;
- закономерности влияния факторов биологического, технологического и организационно - экономического характера на оптимальную дробность сортировки брёвен по толщине;
- 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.

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 объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине вполне соответствуют сложившейся практике снижения дробности сортировки брёвен до двух - трёх чётных диаметров вопреки рекомендациям отраслевой науки.

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

1 Состояние вопроса. Цель и задачи исследования

1.1 Структура и параметры лесопильного предприятия

Под структурой предприятия понимают состав его цехов (линий) и характер связей между ними.

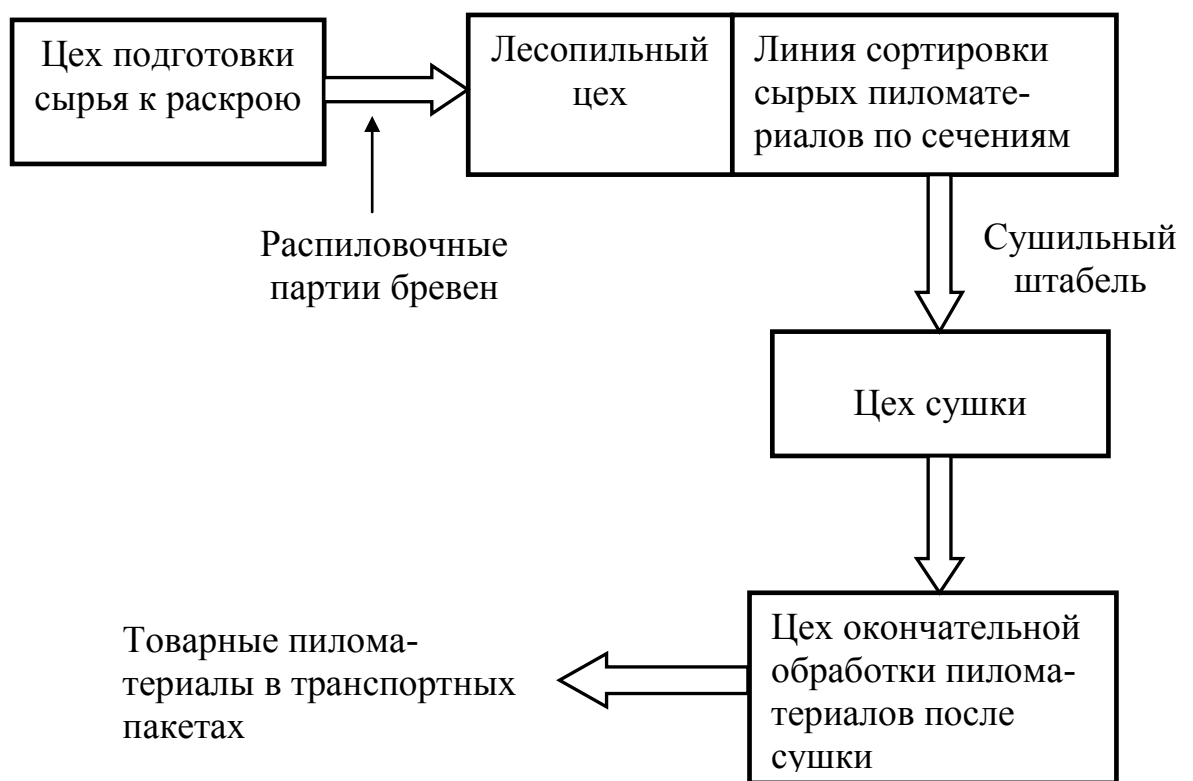


Рисунок 1.1 – Структура современного крупно-поточного лесопильного предприятия с массовой распиловкой

Лесопильный цех организован по принципу непрерывного потока с гибкими связями – брёвна, брусья и доски перемещаются поштучно со страховыми запасами между операциями.

Остальные цехи организованы по принципу дискретного потока – брёвна и доски перемещаются партиями.

Связи между цехами – гибкие с межцеховыми запасами.

В целом лесопильное производство соответствует классу серийных производств.

Важной отличительной особенностью лесопильного производства является отсутствие сборочных операций и большое количество сортировочно-пакетирующих и транспортных операций, а также необходимость предотвращения потери качества древесины в производственном процессе (поражение древесины дереворазрушающими и деревоокрашивающими грибами, растрескивание и т.п.) [14, 21-29].

Цех подготовки сырья (хлыстов и брёвен) к раскрою (склад сырья) [21-29].

Подготовка сырья к раскрою оказывает решающее влияние на все последующие процессы лесопильного производства – на работу лесопильного цеха, цеха сушки, цеха окончательной обработки пиломатериалов после сушки.

На складах сырья выполняют [21-26]:

- выгрузку сырья;
- укладку в штабеля;
- сортировку;
- хранение;
- контроль на отсутствие металла и его удаление;
- гидротермическую обработку брёвен;
- окорку;
- формирование распиловочных партий брёвен определённых толщин, длин, качества и их подачу в лесопильный цех. Объём распиловочной партии должен быть не менее полусменной производительности лесопильного потока.

В настоящее время могут быть выделены следующие типы процессов подготовки сырья к раскрою [14, 21-26];

- с сортировкой брёвен в бассейнах перед лесопильным цехом;
- с сухопутной сортировкой брёвен на автоматизированных линиях;
- с окоркой и сортировкой брёвен на комплексных автоматизированных линиях;
- с раскряжёвкой хлыстов на лесопильных предприятиях.

Лесопильный цех [14, 21].

Технологический процесс в лесопильном цехе состоит из следующих технологических операций:

- распиловка брёвен и брусьев на пиломатериалы (лесопильными рамами, фрезернопильными станками и агрегатами, круглопильными, ленточнопильными станками);
- продольный раскрой пиломатериалов – обрезка (двухпильными и многопильными обрезными станками, фрезерно – обрезными станками);
- поперечный раскрой пиломатериалов – выборочная торцовка (позиционными однопильными торцовочными станками, многопильными торцовочными устройствами проходного типа);
- измельчение кусковых отходов (горбылей, реек, торцевых срезов) на технологическую щепу (рубительными машинами);
- сортировка сырых пиломатериалов по сечениям.

Цех окончательной обработки пиломатериалов после сушки [14, 21-26].

Технологический процесс состоит из следующих операций:

- накопление сухих пиломатериалов каждого сечения в отдельном отсеке склада до заданных достаточно больших объёмов партии;
- сортировка партии досок данного сечения по качеству (браковка);
- окончательная торцовка пиломатериалов;
- сортировка пиломатериалов по длине;
- пакетирование пиломатериалов.

При новом строительстве, расширении, реконструкции и техническом перевооружении лесопильных предприятий учитывается производственная мощность предприятия, размерно-качественная характеристика сырья, назначение, размеры и качество пилопродукции, способы раскроя и уровень автоматизации производственных процессов [14, 21-26]. Однако при любом выборе технологических схем и оборудования остаётся ряд неясных параметров, от которых зависит гармоничность и, как следствие, эффективность работы лесопильного предприятия.

Для цеха подготовки сырья к раскрою – это объём распиловочной партии брёвен и дробность сортировки брёвен по толщине.

Для лесопильного цеха – это количество одновременно вырабатываемых толщин досок из бревна и градация длин досок.

Для цеха окончательной обработки пиломатериалов после сушки – это градация длин досок и количество длин досок в пакете.

Для иллюстрации взаимосвязанности и противоречивости указанных параметров проанализируем в постановочном виде реальную технико-экономическую ситуацию.

Если, например, для снижения затрат в цехе подготовки сырья к раскрою уменьшается дробность сортировки брёвен по толщине и в распиловочную партию поступают брёвна, например, трёх чётных диаметров: 20, 22 и 24 см, то при их распиловке одним поставом пил будет снижаться объёмный выход пиломатериалов и увеличиваться количество одновременно вырабатывающих ширин досок. Для сортировки сырых пиломатериалов по сечениям требуется значительно большее количество карманов-накопителей, а значит более длинные, металлоёмкие и дорогостоящие сортировочные линии. Количество сушильных штабелей из пиломатериалов одного сечения многократно возрастает. Синхронно возрастают площади крытых складов и их стоимость. При большом количестве сечений трудно накопить достаточно большую партию штабелей одного сечения, поскольку параллельно копятся штабеля сухих

пиломатериалов других сечений. Достаточно большая партия штабелей одного сечения необходима для того, чтобы после её рассортировки по сортам и длинам в каждом кармане-накопителе оказывалось достаточное количество досок одного сорта и одной длины для формирования из них пакета стандартных размеров. В противном случае в один пакет приходится укладывать доски двух и более длин, либо повторно направлять эти доски на сортировку по сортам и длинам с другой партией того же сечения после ожидания на складе накопления и запуска в сортировочную линию этой партии. В первом случае предприятие теряет до 20 % выручки, во втором – резко возрастают затраты на обработку пиломатериалов после сушки. Ситуация существенно усложняется, если в лесопильном цехе увеличивается количество одновременно вырабатываемых толщин досок, так как количество карманов-накопителей определяется произведением количества толщин, ширин, длин и сортов качества. Чтобы в какой-то мере снизить описанный негативный эффект некоторые учёные-лесопильщики предлагают для уменьшения количества длин увеличивать градацию длин досок, что, безусловно, ведёт к уменьшению объёмного выхода пиломатериалов.

Таким образом, снижение затрат на участке подготовки сырья к раскрою путём уменьшения дробности сортировки приводит к лавинообразному повышению затрат на участке обработки пиломатериалов после сушки. А уменьшение количества толщин досок в поставе и увеличение градации длин досок, проводимые для снижения затрат на сортировку пиломатериалов и увеличения количества пакетов из досок одной длины, а значит и увеличения стоимости пакетов, приводит к уменьшению общего количества пакетов из-за снижения объёмного выхода пиломатериалов. Результирующую экономическую составляющую описанных процессов в общем виде оценить пока не удаётся.

Существующие рекомендации по определению дробности сортировки брёвен по толщине, количеству толщин досок в поставе, градации длин досок, в основном ориентированы на повышение объёмного выхода

пиломатериалов и не увязаны математическими моделями с показателями эффективности лесопильного предприятия.

Поэтому для установления общих закономерностей эффективности лесопильных предприятий выбираем в качестве управляемых параметров основные из перечисленных выше, а именно:

- дробность сортировки брёвен по толщине;
- количество одновременно вырабатываемых поставом толщин досок;
- градация длин досок.

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.

1.2 Дробность сортировки брёвен по толщине

Сортировка брёвен по толщине является системообразующей технологической операцией, на которой базируется весь производственный процесс массового крупнопоточного лесопиления. Ключевым вопросом сортировки брёвен по диаметрам является её дробность. Этому вопросу уделяется большое внимание в публикациях отечественных и зарубежных учёных [14, 21-29, 36, 41-56, 63, 83, 108, 118, 123-140]. Наиболее полный анализ материалов исследований по дробности сортировки брёвен представлен в монографии проф. В. В. Огурцова [104]. По его мнению, наибольший вклад в решение проблемы дробности сортировки по диаметрам внесли: проф. В. Г. Турушев, проф. Р. Е. Калитеевский и к.т.н. И. В. Соболев. В монографии проф. В. Г. Турушева [14] отмечается, что традиционная система подготовки пиловочника к раскрою имеет следующие недостатки: неизбежность внеплановой смены поставов; невозможность регулирования подачи бревен в лесопильный цех

по размерно-качественным признакам; недостаточную длительность распиловки бревен с ограниченным диапазоном диаметров. Это ведет, по мнению проф. В. Г. Турушева, к уменьшению объёмного выхода пиломатериалов, невозможности сокращения числа выпиливаемых сечений, снижению эффективности работы оборудования, особенно на браковочно-торцовочных и сортировочных операциях. Поэтому, для увеличения дробности (уменьшения шага) сортировки на большинстве лесозэкспортных предприятий осуществляется многоэтапная сортировка сырья. Однако не все ее возможности используются в полной мере. Из-за больших трудозатрат по-прежнему в распиловку подаются бревна двух, а иногда и трех четных диаметров. Проф. В. Г. Турушевым [14] получены также математические модели, из которых следует, что при существующей технологии приходится распиливать произвольно накопившиеся бревна, а не те, которые следовало бы пилить для оперативного выполнения стокнотов. Им предложено сортировку бревен разделить на два этапа: первый – по диаметрам, второй – на две подгруппы качества (отдельно для получения преимущественно бессортных пиломатериалов и для 4 и 5 сортов досок).

В работах И. В. Соболева [41-44] получены зависимости объёмного выхода пиломатериалов от дробности размерной сортировки сырья и других производственных факторов. В работах Р. С. Финка [55] предложена технология сортировки сырья на суше, осуществляемую системой транспортеров и позволяющую перейти от многоэтапной к менее трудоемкой – одноэтапной механизированной сортировке пиловочного сырья.

Проблему дробности сортировки брёвен по диаметрам пытались решить с помощью гибких поставов [29]. С их помощью, по мнению проф. Р. Е. Калитеевского, можно добиться высокой эффективности работы участков подготовки и распиловки сырья, однако они могут привести к значительному рассеиванию сечений досок и, как следствие, к появлению мелких одноразмерных партий пиломатериалов. Существенная часть этих

пиломатериалов остается незапакетированной, а сам процесс окончательной торцовки и сортировки пиломатериалов на сортировочно-пакетирующей линии многократно растягивается [14, 29, 104].

Решению этой проблемы посвящены многочисленные работы проф. Р. Е. Калитеевского [21-29]. С помощью имитационной модели он анализирует следующие варианты сортировки пиловочника: по диаметрам; по диаметрам и группам диаметров; по четным диаметрам; по четным и группам четных диаметров; по нечетным диаметрам; по нечетным и группам нечетных диаметров; по оптимальным границам сортировочных групп бревен. В результате он приходит к выводам:

1 Сортировку бревен следует осуществлять только в плюс, тогда начальной границей использования оптимального постава, например, при распиловке сортировочной группы по поставу, соответствующему бревнам диаметром 18 см, является также диаметр 18 см и конечной 19,5 (а не 17 см и 18,9 см, как при сортировке по четным диаметрам). Ввиду того, что проектирование оптимальных поставов осуществляется с большим шагом, чем производится их расчет на компьютере, следует для каждого постава на первом и втором проходах вводить дополнительные пары пил согласно заданной спецификации пиломатериалов. В результате перехода на сортировку бревен по нечетным диаметрам исключается ситуация, когда нижнее значение диаметра сортировочной группы выходит за пределы действия постава, рассчитанного для среднего диаметра сортировочной группы.

2 Задача оптимизации раскроя бревен на пиломатериалы является многокритериальной, так как следует одновременно минимизировать число сортировочных групп бревен и потери объемного выхода пиломатериалов при ограничениях по объемам сырья и пиломатериалов. Исследования показывают, что при минимизации числа поставов, а, следовательно, и сортировочных групп бревен, их число может быть уменьшено с 43 до 8 (при среднем диаметре 21,5 см) с потерей 2 % объемного выхода пиломатериалов.

3 Одним из методов минимизации числа поставов и потерь объемного выхода пиломатериалов является сортировка бревен по оптимальным границам сортировочных групп бревен. Расчеты показывают, что при оптимальных границах сортировочных групп бревен их число даже при большом значении средне взвешенного объемного выхода пиломатериалов может быть уменьшено, например, с 13 до 9. При этом шаг сортировки будет не постоянным – 2 см, а переменным – 3,5 см; 2 см; 4 см и т.п.

Таким образом, вопросу дробности сортировки брёвен по толщине всегда уделялось большое внимание. Учёные – лесопильщики, которые тяготели к вопросам раскроя брёвен (Фельдман Х. Л., Шапиро Д. Ф., Власов Г. Д., Титков Г. Г., Батин Н. А., Ветшева В. Ф. и др.), использовали в качестве критерия эффективности лесопильного производства в основном объёмный выход пиломатериалов и поэтому ориентировались на высокую дробность сортировки брёвен по толщине. Учёные, которые в основном занимались гармонизацией лесопильных процессов (Калитеевский Р. Е, Турушев В. Г. и др.), искали пути понижения дробности сортировки брёвен по толщине, считая, что повышение дробности сортировки имеет экономические ограничения из-за возрастающих трудозатрат на участке подготовке сырья к раскрою. Производственники отдавали явное предпочтение более грубой сортировке брёвен по толщине с низкой дробностью (через два – три чётных диаметра), видя, с одной стороны, громоздкость и затратность сортировки с высокой дробностью, и не обнаруживая, с другой стороны, ожидаемого повышения объёмного выхода пиломатериалов, которое можно объяснить 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 пиломатериалов по толщине на эффективность лесопильного производства. Установить взаимосвязь между тремя важнейшими показателями лесопильного производства: дробностью сортировки брёвен по толщине, объёмным выходом пиломатериалов, эффективностью лесопильного производства. Определить принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке с учётом вероятностной природы формы бревна и точности его базирования. Определить оптимальную дробность сортировки брёвен по толщине по критерию экономической эффективности лесопильного предприятия.

1.3 Цель и задачи исследования

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 и рентабельностью лесопильного предприятия.

3 Разработать алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов, включающий блоки автоматического проектирования оптимальных и рациональных поставов, генерирования партии брёвен заданного объёма и требуемых геометрических характеристик, ориентации бревен относительно центра постава пил.

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 толщины, 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.

2 Теоретические основы имитационных исследований лесопильных предприятий с учётом вероятностных характеристик сырья и процессов его раскроя на пилопродукцию

2.1 Общие положения и предпосылки

Как было отмечено выше, эффективность работы лесопильного предприятия во многом зависит от характеристик пиловочного сырья, технологии его подготовки к раскрою на пиломатериалы, процесса раскроя, сортировки пиломатериалов по сечениям, сушки пиломатериалов, технологии обработки пиломатериалов после сушки и гармонизации всего производственного процесса предприятия.

Основным критерием технологического и технического уровня лесопильного предприятия традиционно считается объёмный выход пиломатериалов. Затраты, ценой которых достигается объёмный выход пиломатериалов, в общей теории лесопиления не учитываются. Это объясняется двумя основными причинами.

Во-первых, объёмный выход пиломатериалов можно математически описать как функцию характеристик пиловочного сырья, дробности его сортировки по толщине и длине, структуры и параметров поставов (схем раскроя брёвен на пиломатериалы), а также градации длин досок. Затраты на реализацию производственных процессов лесопиления описать математически в обобщённом виде без привязки к конкретному оборудованию и к конкретным условиям пока не удаётся.

Во-вторых, в себестоимости пиломатериалов на сырьё приходится до 80 %, поэтому аксиоматично принимается, что практически любая экономия сырья перекрывает увеличение затрат, за счёт которых она достигается.

Автором диссертации выдвигается гипотеза о том, что именно вторым допущением, возведённым в ранг методологического принципа, объясняется то, что эффективность некоторых весьма принципиальных рекомендаций учёных-лесопильщиков, не подтверждается на практике. Например, в справочнике по лесопилению [52, 84] указывается, что брёвна перед раскромом следует подбирать в распиловочные группы с точностью ± 1 см (один чётный диаметр). На практике сортируют брёвна через 2...3 чётных диаметра, считая сортировку через один чётный диаметр экономически нецелесообразной.

Достоверность и ценность многих предложений и рекомендаций существенно снижается ещё и тем, что используемые математические модели и алгоритмы не учитывают вероятностную природу как предмета обработки (форма и размеры бревна и пиломатериала), так и процесса их раскром (например, самопроизвольное смещение бревна относительно центра постава пил).

Для проверки выдвинутой гипотезы и разработки методики оценки эффективности лесопильного предприятия предлагается воспользоваться методом имитационного моделирования [75-78]. В качестве критерия эффективности целесообразно использовать такой показатель работы лесопильного производства, который учитывает, не только объёмы получаемых пиломатериалов, но и затраты, ценой которых эти объёмы обеспечиваются. Этим требованиям вполне отвечает уровень рентабельности лесопильного предприятия [87]. В качестве конкурирующего критерия эффективности выбирается объёмный выход пиломатериалов.

2.2 Теоретические основы имитации процесса раскром брёвен с пороками формы

Для оптимизации дробности сортировки брёвен по диаметрам необходимы математические модели, связывающие три важнейшие характеристики лесопильного производства: объёмный выход пиломатериалов, рентабельность производства и дробность сортировки брёвен по толщине. Причём эти модели

должны учитывать присущую реальным брёвнам случайную толщину, эллиптичность и кривизну, а также вероятностную асимметрию их раскроя. Для создания таких моделей невозможно воспользоваться классической теорией раскроя брёвен на пиломатериалы [1, 2, 19], в основу которой положено представление бревна в виде параболоида вращения. Поэтому воспользуемся моделью, связывающей размеры боковых досок с характеристиками бревна (толщиной, длиной, сбегом, эллиптичностью, кривизной), точностью его центрирования и местоположением доски в бревне, которая была впервые предложена канд. техн. наук Матвеевой И. С. [36]:

$$b_i = \sqrt{(S(2(d - (-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d - (-1)^n \Delta d)^2)}_x, \quad (2.1)$$

$$\times \sqrt{\left(1 - \frac{4(E_i + S_m + 0.05f_{cp} l_i (1 - \exp(-\frac{L - l_i}{L})))^2}{S(2(d + (-1)^n \Delta d) + SL)(L - l_i) + (d + (-1)^n \Delta d)^2}\right)}$$

где b_i , l_i – ширина и длина текущей обрезной доски до их приведения к стандартным значениям, мм;

d , L , S – диаметр бревна в вершинном торце, длина бревна и случайный сбеги бревна, мм;

n – номер прохода при брусо-развальном способе раскроя;

E_i – расхождение ширины поставы i -ой доски, мм (координата доски);

Δd – случайная эллиптичность, мм;

f_{cp} – случайный прогиб посередине бревна, %;

S_m – случайное смещение бревна (бруса) относительно центра поставы пил, мм.

Для интеграции выражения 2.1 в имитационную модель процесса распиловки брёвен введём переменные: $X_1 = L - l_i$; $d = d_n + X_2$, где d_n – номинальный диаметр, X_2 – случайное отклонение диаметра от номинального значения (дробность сортировки); $X_3 = \Delta d$; $X_4 = S_m$; $X_5 = f_{cp}$ и перейдём к уравнению объёма доски. Используя полученное уравнение в качестве целевой функции, запишем математическую модель задачи оптимизации процессов обрезки и торцовки боковых досок в следующем виде:

$$\begin{aligned}
F &= (L - X_1) h_i (S(2(d_n + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \\
& (L - l_i) + (d_n + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i * \\
& (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2) (S(2(d_n + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + \\
& (d_n + X_2 + (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} \rightarrow \underset{(X_1)}{\text{MAX}} \\
0 \leq X_1 &\leq (L - l_{\min}); (X_1 - \text{дискретная координата торцовки}) \\
(L - X_1) &\in \{l_{\text{ст}}\} \\
F (L - X_1)^{-1} &\in \{b_{\text{ст.}}\}, \tag{2.2}
\end{aligned}$$

где $l_{\min}$ – минимальная длина доски;

$\{l_{\text{ст}}\}, \{b_{\text{ст.}}\}$, – множества стандартных длин и ширин досок;

h_i – толщина доски (устанавливается при генерации постава);

$L - X_1$ – длина обрезной доски.

Используя полученную математическую модель, сначала определяется ширина необрезной доски посередине её вогнутой части с учётом случайного сбёга, эллиптичности, кривизны и поперечного смещения бревна, то есть, определяется ширина в той части доски, где в наибольшей степени сказывается кривизна бревна при распиловке бруса кривизной вбок. Назовём этот участок доски горловиной. Затем, для $X_1 = 0$ определяется длина $l_i = L - X_1$, ширина b_1 и площадь пласти $b_1 * l_i$ обрезной доски полной длины. Если доска «проходит через горловину», (рисунок 2.1), 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. Законы варьирования переменных обоснованы в работе [36].

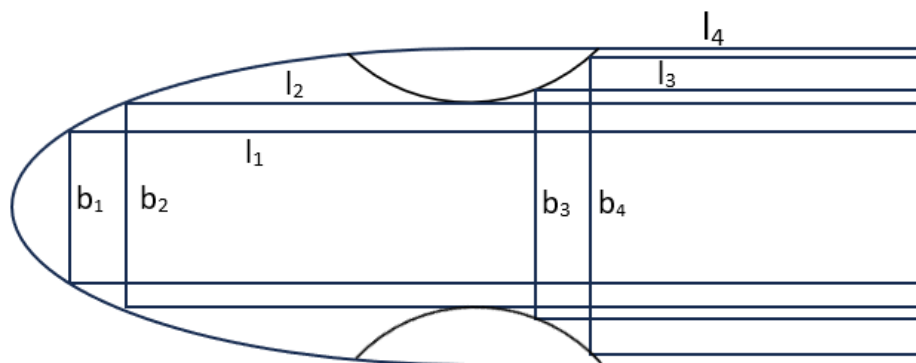


Рисунок 2.1 - Схема раскроя боковой доски с учетом кривизны бревна

Используя полученную математическую модель оптимизации процессов обрезки и торцовки пиломатериалов (2.2), сформируем математическую модель оптимизации процессов раскроя брёвен (поставов) с максимизацией объёмного выхода пиломатериалов:

$$\Omega = \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{m_j} (L - X_1) h_i (S(2(d_n + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \right. \right. \\ (L - l_i) + (d_n + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \\ (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2)(S(2(d_n + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + (d_n + X_2 + \\ (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m_2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \} 100 (\sum_{k=1}^{1000} V_k)^{-1} \rightarrow \text{MAX} \\ \left. \{h_i, E_i\} \right\}$$

$$0 \leq X_1 \leq (L - l_{\min})$$

$$(L - X_1) \in \{l_{\text{сг}}\}$$

$$F(L - X_1)^{-1} \in \{b_{\text{сг.}}\}$$

$$X_2 = (-1 \dots 1) X_{2\text{ср}}; X_{2\text{ср}} \in \{2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ мм}\}$$

$$X_3 = (0 \dots 2) X_{3\text{ср}}; X_{3\text{ср}} \in \{0, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ мм}\}$$

$$X_4 = (-1 \dots 1) X_{4\text{макс}}; X_{4\text{макс}} \in \{0; 5; 10; 15; 20 \text{ мм}\}$$

$$X_5 = (0 \dots 2) X_{5\text{ср}}; X_{5\text{ср}} \in \{0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 \text{ \%}\}, \quad (2.3)$$

где Ω - объёмный выход пиломатериалов, %;

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

$\{h_i, E_i\}$ – постав;

j – номер расчёта боковых зон поставы (1 - правой зоны на первом проходе; 2 – левой зоны на первом проходе; 3 – правой зоны на втором проходе; 4 – левой зоны на втором проходе;

ii, m_2 – порядковый номер и количество досок из пропиленной части бруса;

k, V_k – номер и объём бревна.

Используя средние по отрасли устойчивые характеристики работы предприятий с массовой крупно-поточной технологией [14, 21-29], введём 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; 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 исключения из рассмотрения конкретных цен на пилопродукцию и выравнивания размерностей будем условно считать, что цена 1 куб.м. пиломатериалов равняется 1 рублю, а товарная продукция будет численно

равняться объёму полученных пиломатериалов. Тогда себестоимость всего объёма пиломатериалов для базового варианта может быть описана выражением:

$$SE_b = \left\{ \sum_{k=1}^{1000} \left\{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_1) h_i (S(2(d_n + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \right. \right. \\ (L - l_i) + (d_n + X_2 - (-1)^n X_3)^2)^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \\ (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2)(S(2(d_n + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + (d_n + X_2 + \\ (-1)^n X_3)^2)^{-1})^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \} (1 - RE_b)^{-1} \quad (2.4)$$

Тогда

$$C3_b = D_{c3}^b SE_b; \quad (2.5)$$

$$HC3_b = (1 - D_{c3}^b) SE_b, \quad (2.6)$$

где $C3_b$ - базовые сырьевые затраты; $HC3_b$ - базовые несырьевые затраты;

D_{c3}^b - доля стоимости сырья в себестоимости пиломатериалов.

Для перехода от базового к исследуемому варианту вводятся корректирующие коэффициенты. В результате получаем себестоимость всей продукции для исследуемого jj -го варианта:

$$SE_{jj} = SE_b D_{c3} + SE_b (1 - D_{c3}) (Y_1 DR_b / X_2 + Y_2 KT_{jj} / KT_b + \\ Y_3 GR_b / GR_{jj} + Y_4); \quad (2.7)$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 = 1, \quad (2.8)$$

где: 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).

Далее определяется уровень рентабельности RE_{jj} для jj -го варианта, и, полученное выражение используется в качестве целевой функции математической модели двухкритериальной оптимизации дробности сортировки по диаметрам для максимизации рентабельности лесопильного производства.

$$RE_{jj} = \{ \sum_{k=1}^{1000} \{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_1) h_i (S(2(d_h + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \\ (L - l_i) + (d_h + X_2 - (-1)^n X_3)^2 \}^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \\ (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2) (S(2(d_h + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + (d_h + X_2 + \\ (-1)^n X_3)^2)^{-1} \}^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \} \{ SE_b D_{c3} + SE_b (1 - D_{c3}) (Y_1 DR_b / X_2 \\ + Y_2 KT_{jj} / KT_b + Y_3 GR_b / GR_{jj} + Y_4) \}^{-1} - 1 \rightarrow \underset{(X_2)}{MAX}$$

$$\Omega = \{ \sum_{k=1}^{1000} \{ \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{mj} (L - X_1) h_i (S(2(d_h + X_2 - (-1)^n X_3) + SL))^* \\ (L - l_i) + (d_h + X_2 - (-1)^n X_3)^2 \}^{0,5} (1 - (4(E_i + X_4 + 0,05 X_5 l_i \\ (1 - \exp(-(L - l_i) / L)))^2) (S(2(d_h + X_2 + (-1)^n X_3) + SL)(L - l_i) + (d_h + X_2 + \\ (-1)^n X_3)^2)^{-1} \}^{0,5} + \sum_{ii=1}^{m2} h_{ii} b_{ii} l_{ii} \} \} 100 (\sum_{k=1}^{1000} V_k)^{-1} \rightarrow \underset{\{h_i, E_i\}}{MAX}$$

$$0 \leq X_1 \leq (L - l_{\min})$$

$$(L - X_1) \in \{l_{\text{ср}}\};$$

$$F (L - X_1)^{-1} \in \{b_{\text{ср}}\},$$

$$X_2 = (-1 \dots 1) X_{2\text{ср}}; X_{2\text{ср}} \in \{2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 \text{ мм}\}$$

$$X_3 = (0 \dots 2) X_{3\text{ср}}; X_{3\text{ср}} \in \{0, 2, 4, 6, 8, 10 \text{ мм}\}$$

$$X_4 = (-1 \dots 1) X_{4\text{max}}; X_{4\text{max}} \in \{0; 5; 10; 15; 20 \text{ мм}\}$$

$$X_5 = (0 \dots 2) X_{5\text{ср}}; X_{5\text{ср}} \in \{0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 \%\} \quad (2.9)$$

Полученная математическая модель используется при имитационном моделировании лесопильного производства. На первом этапе определяется оптимальный постав $\{h_i, E_i\}$ по критерию максимизации объёмного выхода пиломатериалов Ω . На втором этапе определяется оптимальная дробность

сортировки брёвен по толщине X_2 для оптимального постава $\{h_i, E_i\}$ по критерию максимизации рентабельности RE_{jj} . Для исследования влияния структуры и качества постава на зависимость рентабельности лесопильного производства от дробности сортировки брёвен по толщине поиск оптимальной дробности проводится не только для оптимального постава, но и для 20...30 лучших поставов.

Для определения случайного сбег бревна S определяется объём бревна V_k для случайного диаметра $d_n + X_2$ и длины L с использованием формулы

$$V_k = (0,87L + 0,01L^2)((d_n + X_2) 0.0001L^2)^2 + 0.00002L,^3 \quad (2.10)$$

которая получена путём математической обработки таблиц объёмов ГОСТ 2708-75. Как показали исследования [78,79], она обеспечивает ошибку определения объёма в 4..7 раз меньшую, чем другие известные формулы. С использованием полученного объёма определяется средний сбег бревна по формуле И.В. Соболева [41-44], которая «увязывает» табличный объём бревна с параболоидом вращения.

$$S = ((8V_k/\pi L) - (d_n + X_2)^2)^{0,5} - (d_n + X_2))/L \quad (2.11)$$

2.3 Выводы

В настоящем разделе разработаны следующие математические модели:

1 Математическая модель оптимизации процессов обрезки и торцовки боковых досок с целью максимизации их объёмов (2.2).

2 Математическая модель оптимизации поставов при массовом крупно-поточном производстве пиломатериалов по критерию максимизации объёмного выхода пиломатериалов (2.3).

3 Двухкритериальная математическая модель оптимизации дробности сортировки брёвен по толщине при массовом крупно-поточном производстве пиломатериалов по критериям максимизации его рентабельности и объёмного выхода пиломатериалов (2.9).

4 Математические модели увязывают в единую аналитическую систему объёмный выход пиломатериалов, рентабельность производства и дробность сортировки брёвен по толщине. Они учитывают вероятностный характер геометрических характеристик брёвен и процессов их раскроя. Используя эти модели, ниже разработан алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с целью определения оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине.

3 Алгоритм имитационных исследований процесса производства пиломатериалов с воспроизведением случайной изменчивости размеров и формы распиливаемых брёвен

Для установления общих закономерностей изменения эффективности лесопильных предприятий в зависимости от основных технологических управляемых параметров – дробности сортировки брёвен по толщине; количества одновременно вырабатываемых поставом толщин досок; градации длин досок разработан алгоритм имитационных исследований функционирования лесопильного предприятия с воспроизведением реальной (случайной) изменчивости размеров и формы распиливаемых брёвен [86,123, Приложение А].

Поскольку алгоритм имитационных исследований работы лесопильного предприятия базируется на имитации процесса раскроя брёвен на пиломатериалы, а сам раскрой во многом зависит от применяемых поставов, основным блоком алгоритма является блок автоматического проектирования оптимальных и рациональных поставов.

В основу автоматизированного проектирования оптимальных поставов положен метод полного перебора. Для каждого постава боковые доски оптимизируются с использованием математической модели 2.2.

Для воспроизведения реальной природной изменчивости формы и размеров брёвен, а также случайного смещения брёвен относительно центра постава пил предусмотрен блок генерирования партии брёвен заданного объёма и требуемых геометрических характеристик и блок ориентации бревен относительно центра постава пил.

Для определения рентабельности лесопильного предприятия используется блок имитации сырьевых и не сырьевых затрат при

производстве пиломатериалов в зависимости от управляемых технологических параметров.

На первом этапе (раздел 4) используется усечённый алгоритм имитационных исследований лесопильного предприятия без учёта реальной изменчивости размеров и формы брёвен (бревно рассматривается как идеальный параболоид вращения) для установления закономерностей изменения объёмного выхода и рентабельности предприятия в зависимости от дробности сортировки брёвен по толщине.

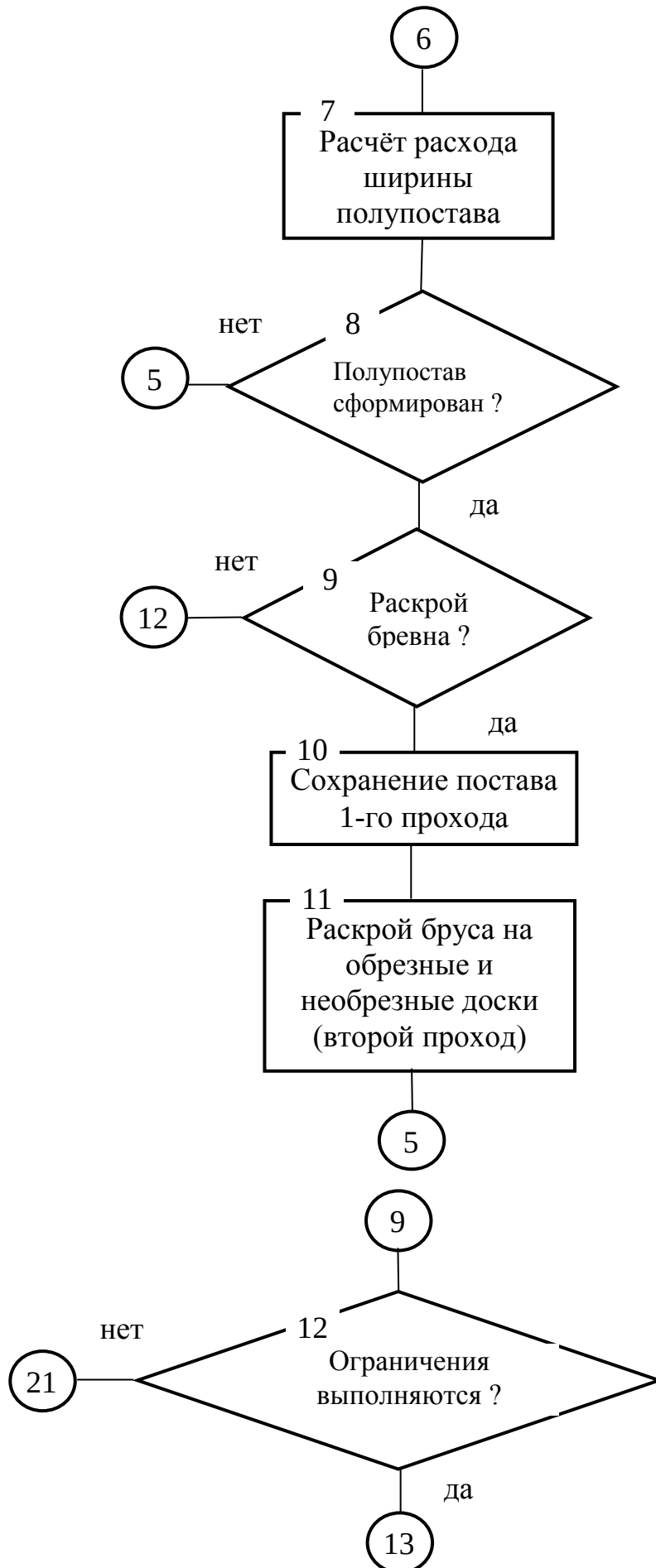
На втором этапе (раздел 6) имитационные исследования процесса производства пиломатериалов повторяются, но с воспроизведением случайной изменчивости размеров и формы брёвен, а также случайного смещения брёвен относительно постава пил.

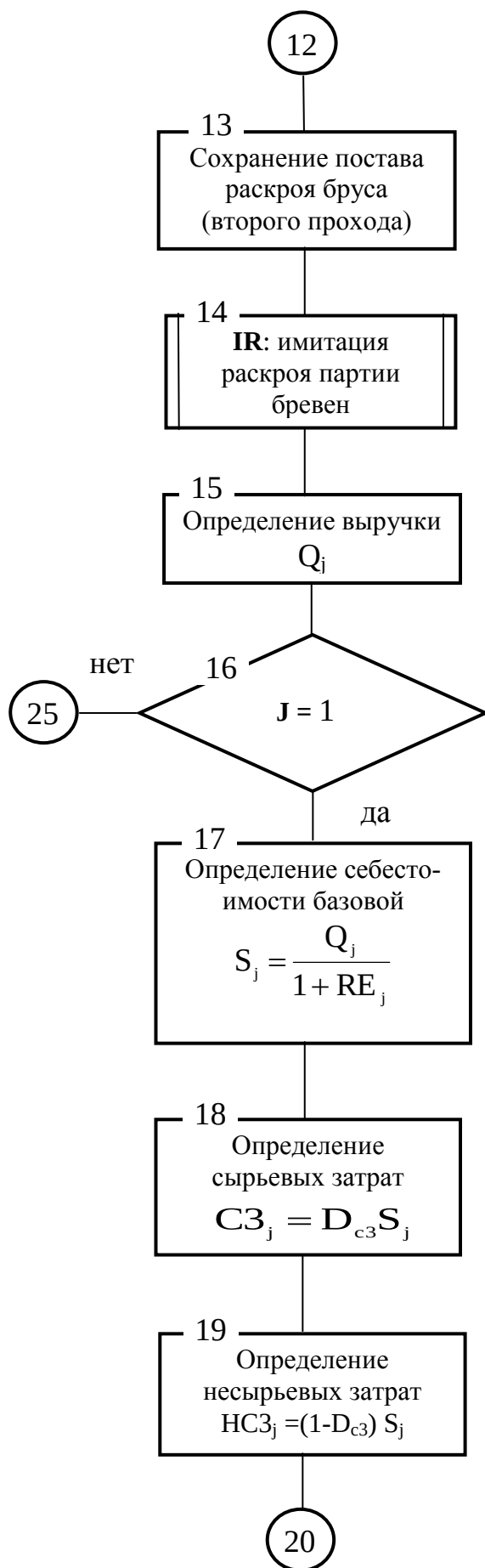
На обоих этапах применяются два конкурирующих критерия эффективности лесопильного производства: объёмный выход пиломатериалов (традиционно используемый учёными - лесопильщиками при оптимизации технологии и оборудования лесопильного производства) и рентабельность производства пиломатериалов.

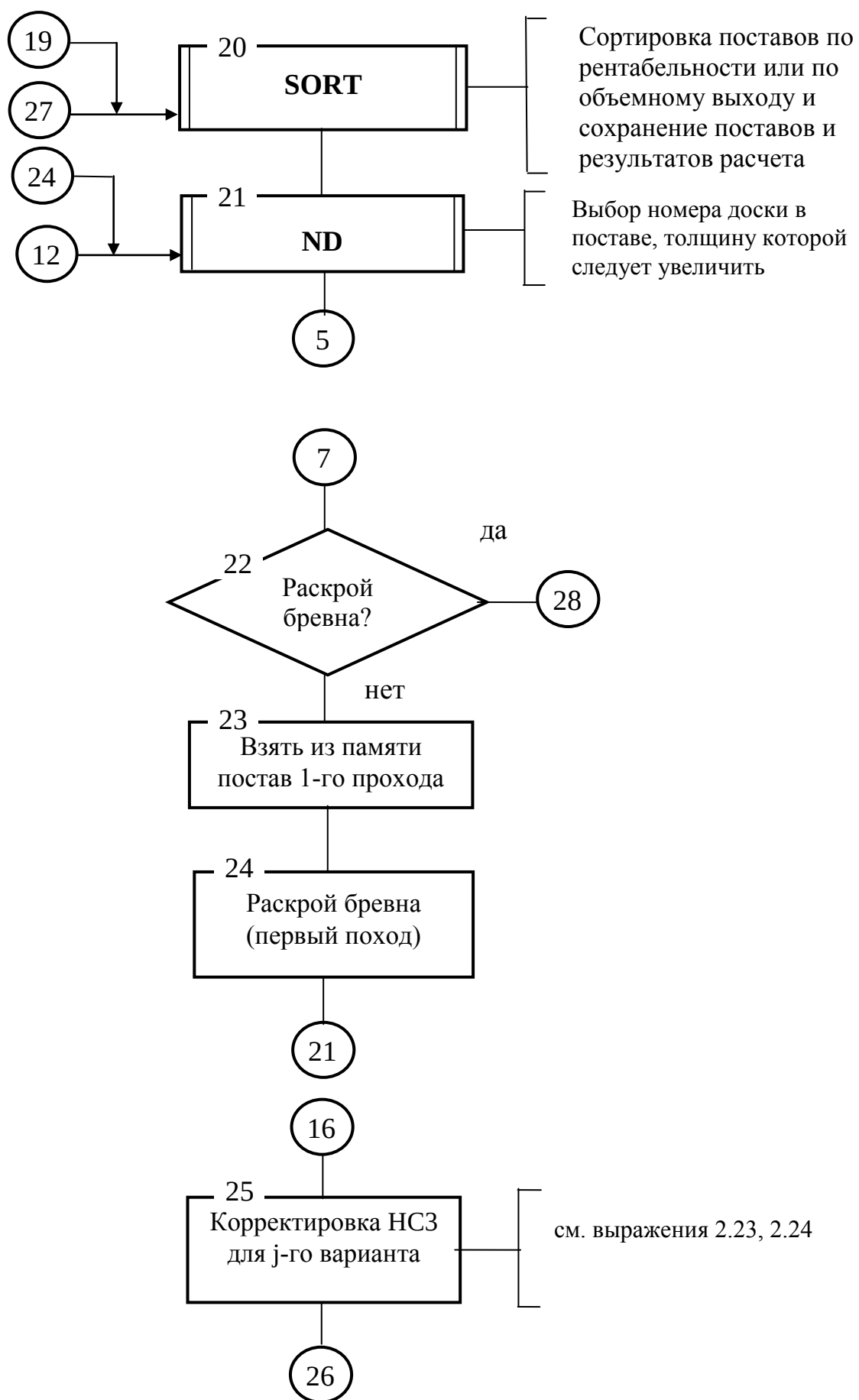
На основе полученных результатов ниже предлагаются принципы имитационной оценки и прогноза эффективности лесопильного производства.

Блок - схема алгоритма имитационных исследований эффективности лесопильного производства представлена на рисунке 3.1 [86, 123, Приложение А]. Блок – схемы подпрограмм алгоритма представлены на рисунках 3.2. – 3.4.









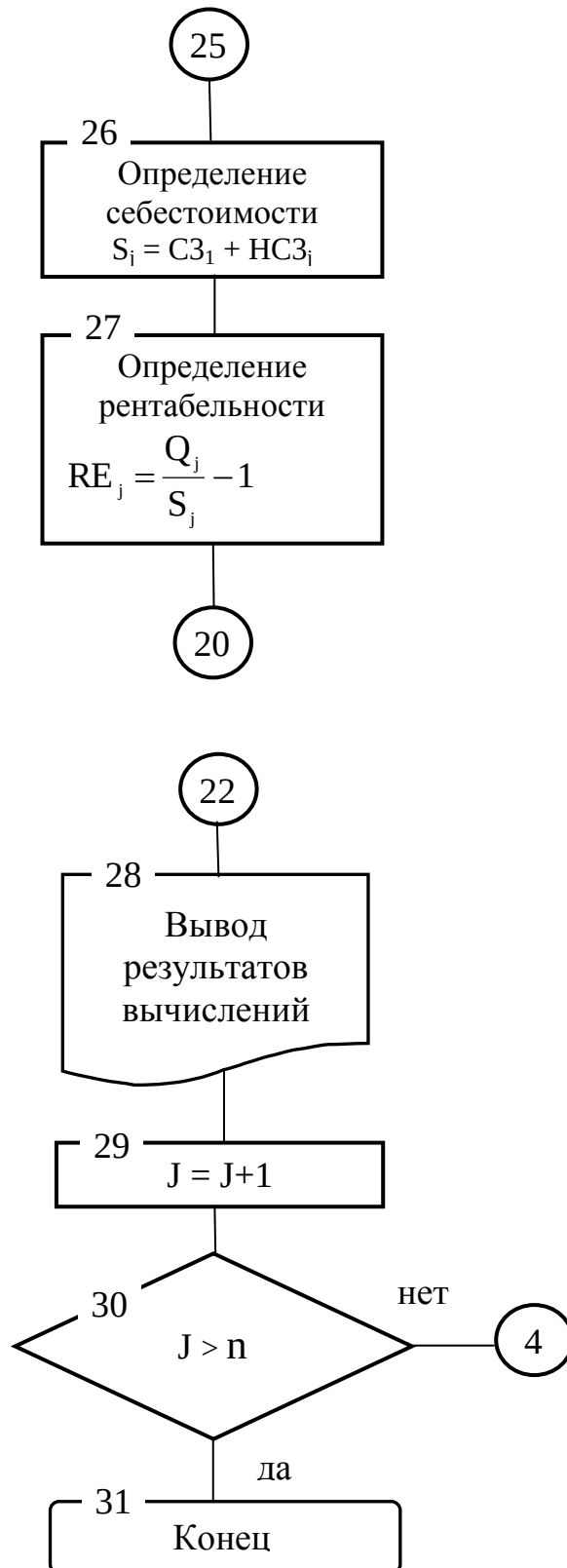


Рисунок 3.1 – Блок - схема алгоритма имитационных исследований
эффективности лесопильного производства

Исходные данные [86]:

Номинальные размеры (толщина, длина) брёвен по ГОСТ 9463-2016 и пиломатериалов по ГОСТ 24454-80, предельный охват диаметра бревна поставом – 1,2, толщина пропила – 4,1 мм, брусо–развальный способ распиловки.

Ограничения технологические: по количеству толщин досок в поставе: без ограничений; не более 2; 3; 4; по смежным толщинам досок в поставе: без ограничений; не менее 5 мм; по согласованию проходов по толщинам боковых досок: без ограничений; по одной, по двум, по трём парам досок.

Ограничения спецификационные: по толщинам досок; по минимальной длине, по градации длин.

Параметры распиловочной партии: количество брёвен (1000); законы и параметры распределения случайных величин: толщины – по равновероятному закону, эллиптичности; кривизны; смещённости бревна и бруса относительно центра поставы пил – по нормальному закону.

Описание алгоритма

Сначала имитируется работа лесопильного производства при наиболее распространённых в России на протяжении десятилетий технологических параметрах (базовый вариант): при дробности сортировки пиловочника через 2 чётных диаметра, при двухтолщинных рациональных поставках, при градации длин досок – 0,3 м. Средний по отрасли уровень рентабельности при таких параметрах лесопильного производства составляет 0,13.

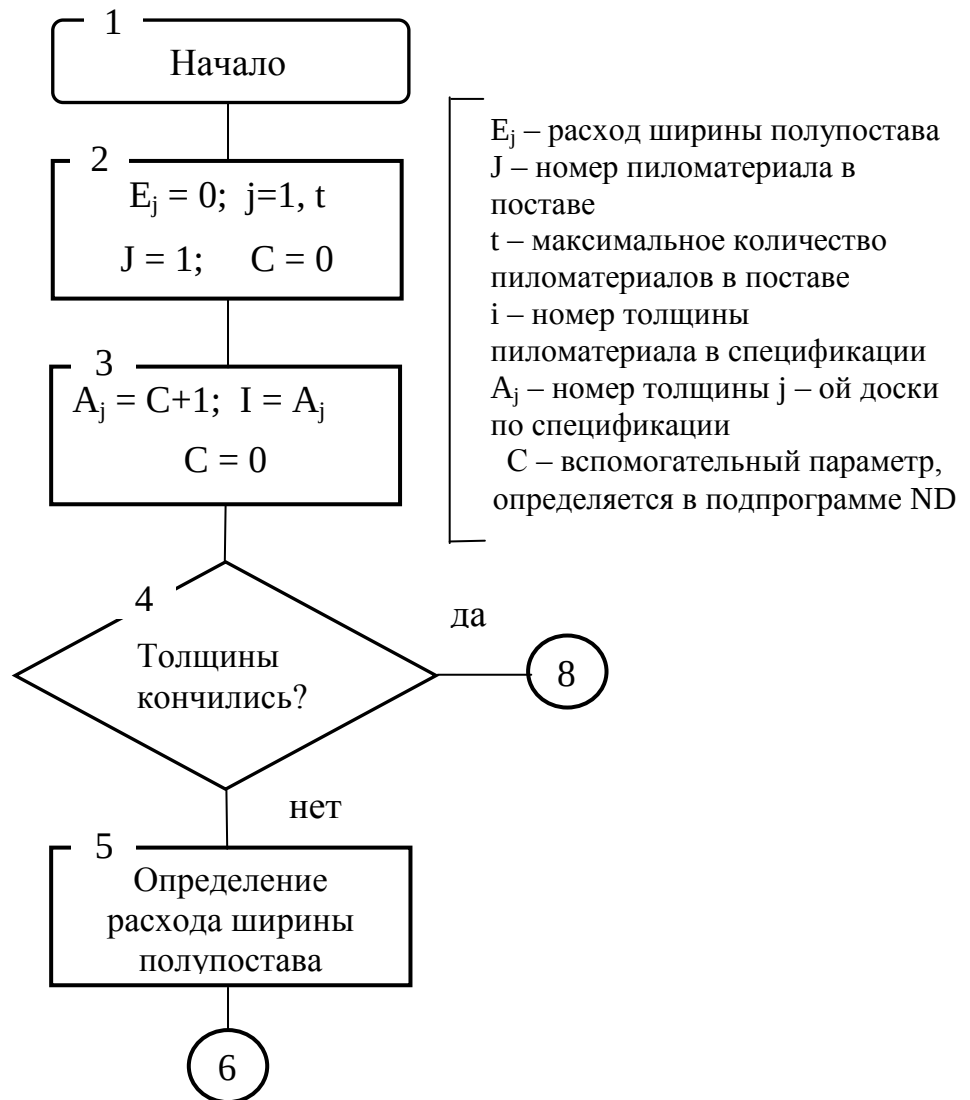
При использовании наиболее распространённого брусо-развального способа распиловки в подпрограмме FSR (рисунок 3.1, блок № 5) составляется начальный постав для первого прохода из бруса минимальной толщины и боковых досок минимальных толщин. Генерирование поставы (блоки № 5...№ 8) завершается, когда расход ширины поставы достигает предельного значения - 1,2. Из записи поставы автоматически исключаются недопустимо короткие доски. Сгенерированный стартовый постав первого прохода сохраняется в блоке № 10. После этого с помощью блоков № 5...№ 8

генерируется стартовый постав второго прохода из досок минимальных толщин. Если блок № 12 активен, то проводится проверка обоих поставов на соответствие технологическим ограничениям. Если постав принимается, то сохраняется список толщин пиломатериалов, включённых в постав, и список соответствующих расходов ширин постав (блоки № 10 и № 12). Далее передаётся управление подпрограмме IR (блок № 14) для имитации распиловки партии брёвен заданного объёма сформированным поставом № 1. Подпрограмма IR (рисунок 3.3, блок № 2) создаёт вероятностную модель бревна № 1 со случайной толщиной, эллиптичностью и кривизной. После этого имитируется распиловка этого бревна с применением постав № 1. Наличие кривизны бревна и случайного продольного смещения нарушает симметричность схемы раскроя, поэтому постав рассчитывается четыре раза: для правой и левой части бревна и бруса. Соответствующие переключения блоков программы осуществляются с помощью переменных PR и ST (рисунок 3.3). Затем с помощью блока № 2 формируется вероятностная модель бревна № 2 для «распиловки» тем же поставом № 1. Цикл повторяется для всех 1000 брёвен распиловочной партии (блок № 15). Далее с помощью блоков 15...19 (рисунок 3.1) определяется выручка, себестоимость пиломатериалов, сырьевые и не сырьевые затраты для базового варианта. В блоках 25 – 27 определяется себестоимость и рентабельность исследуемого варианта. На этом завершается первая итерация метода полного перебора. Для перехода ко второй итерации в подпрограмме ND (рисунок 3.1, блок № 21, подпрограмма ND - рисунок 3.4) определяется номер доски в поставе второго прохода для увеличения её толщины на один шаг. Затем осуществляется возврат в основную программу (рисунок 3.1), где в подпрограмме FSR генерируется постав № 2, который отличается от постав № 1 только тем, что в поставе второго прохода толщина сердцевинной доски (при нечётном поставе) или толщины двух центральных досок (при чётном поставе) увеличены на один шаг. Далее передаётся управление подпрограмме IR (блок № 14) для имитации

распиловки партии брёвен заданного объёма сформированным поставом № 2. Цикл повторяется, пока при генерировании поставов второго прохода не будет завершён полный перебор всех вариантов (блоки 6, 22, 23).

После завершения полного перебора поставов второго прохода подпрограммы ND (блок № 21) и FSP (блок № 5) формирует очередной постав первого прохода. Для поставов первого прохода новой итерации повторяется перебор поставов второго прохода пока не сработает блок № 6 «Перебор завершён».

Генерирование поставов и имитация раскрытия партий брёвен продолжается до тех пор, пока не «закончатся толщины пиломатериалов». Тогда сработает блок № 6 и блок № 22 переключит управление на блок № 28.



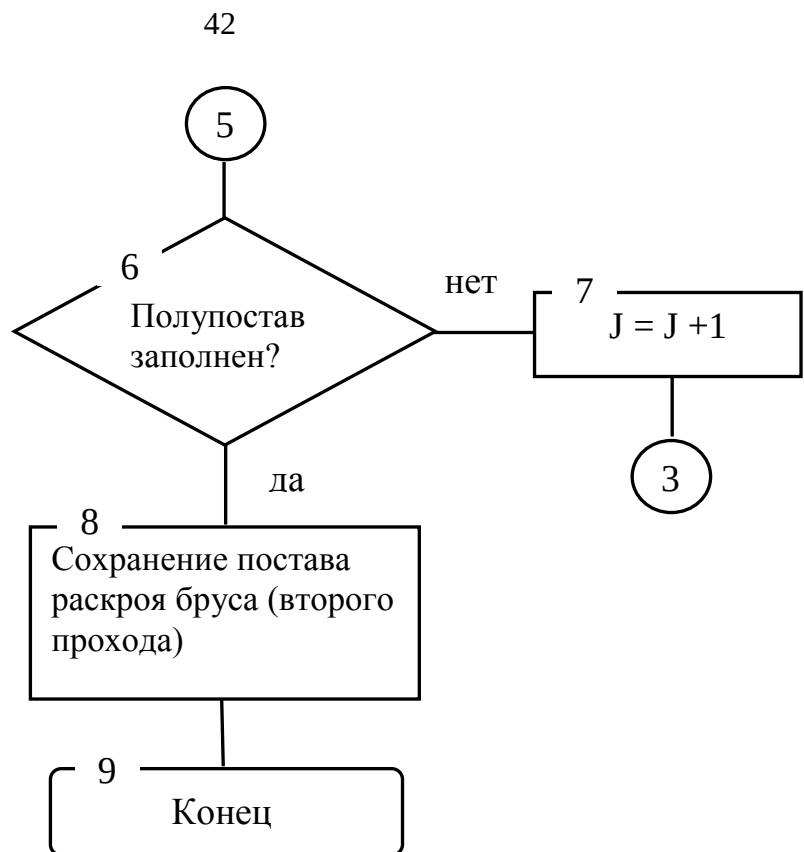
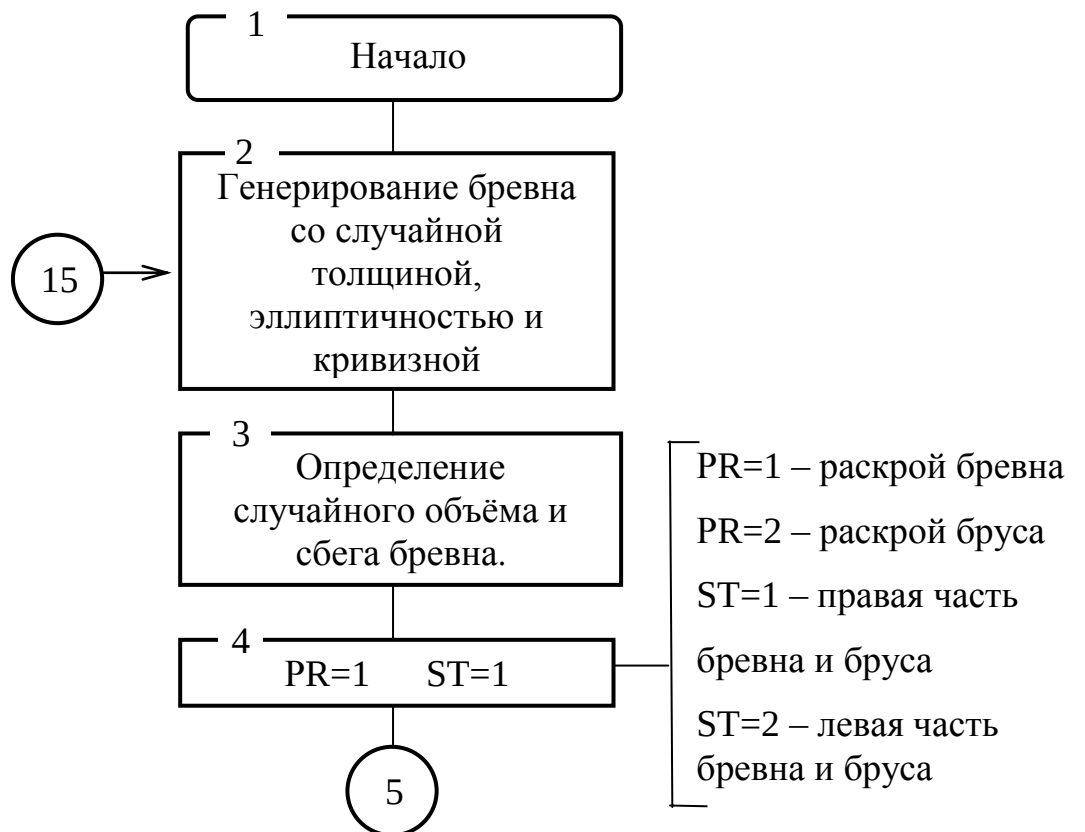
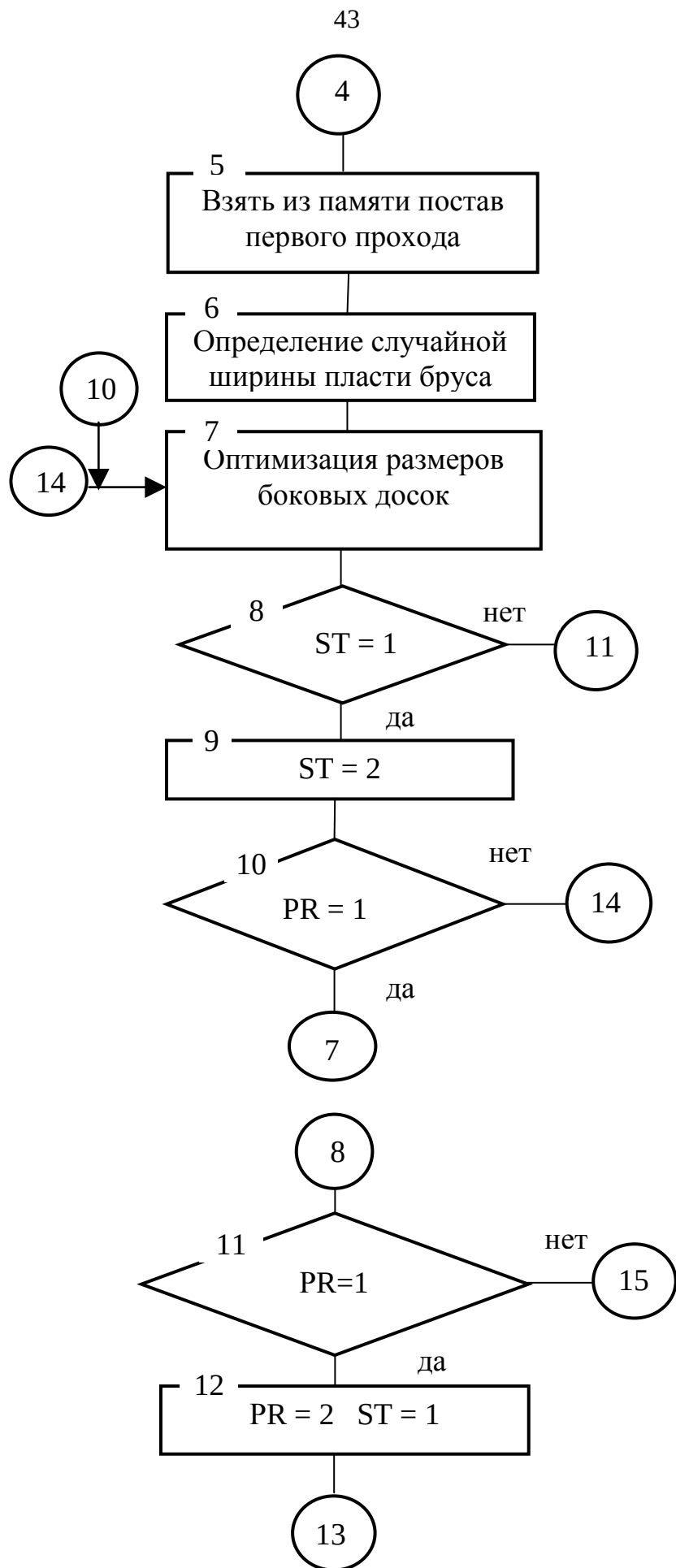


Рисунок 3.2 – Блок - схема подпрограммы FSR – формирования схемы раскря (постава)





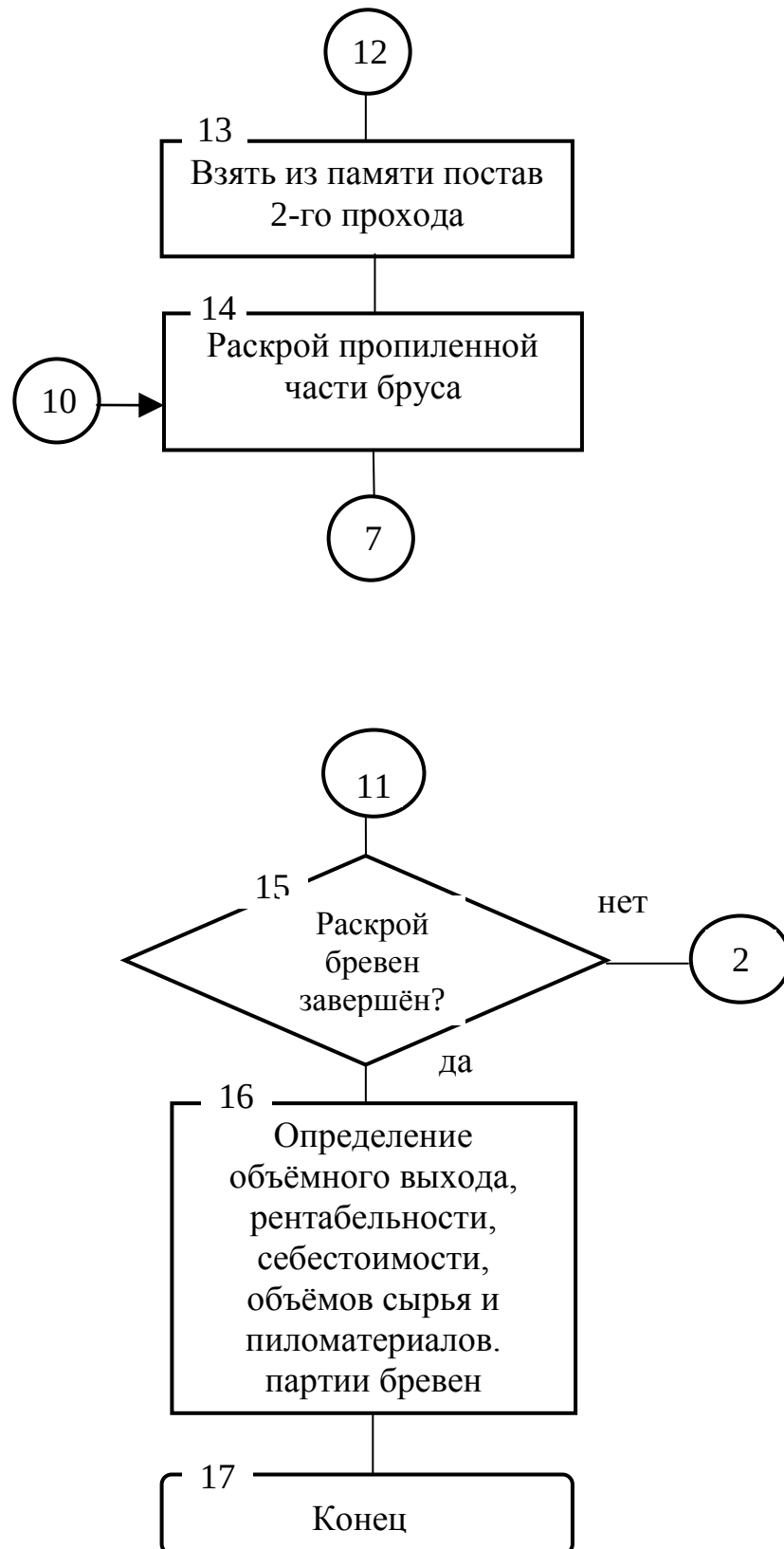


Рисунок 3.3 – Блок - схема подпрограммы IR – имитации раскроя партии брёвен с воспроизведением случайных характеристик их размеров и формы

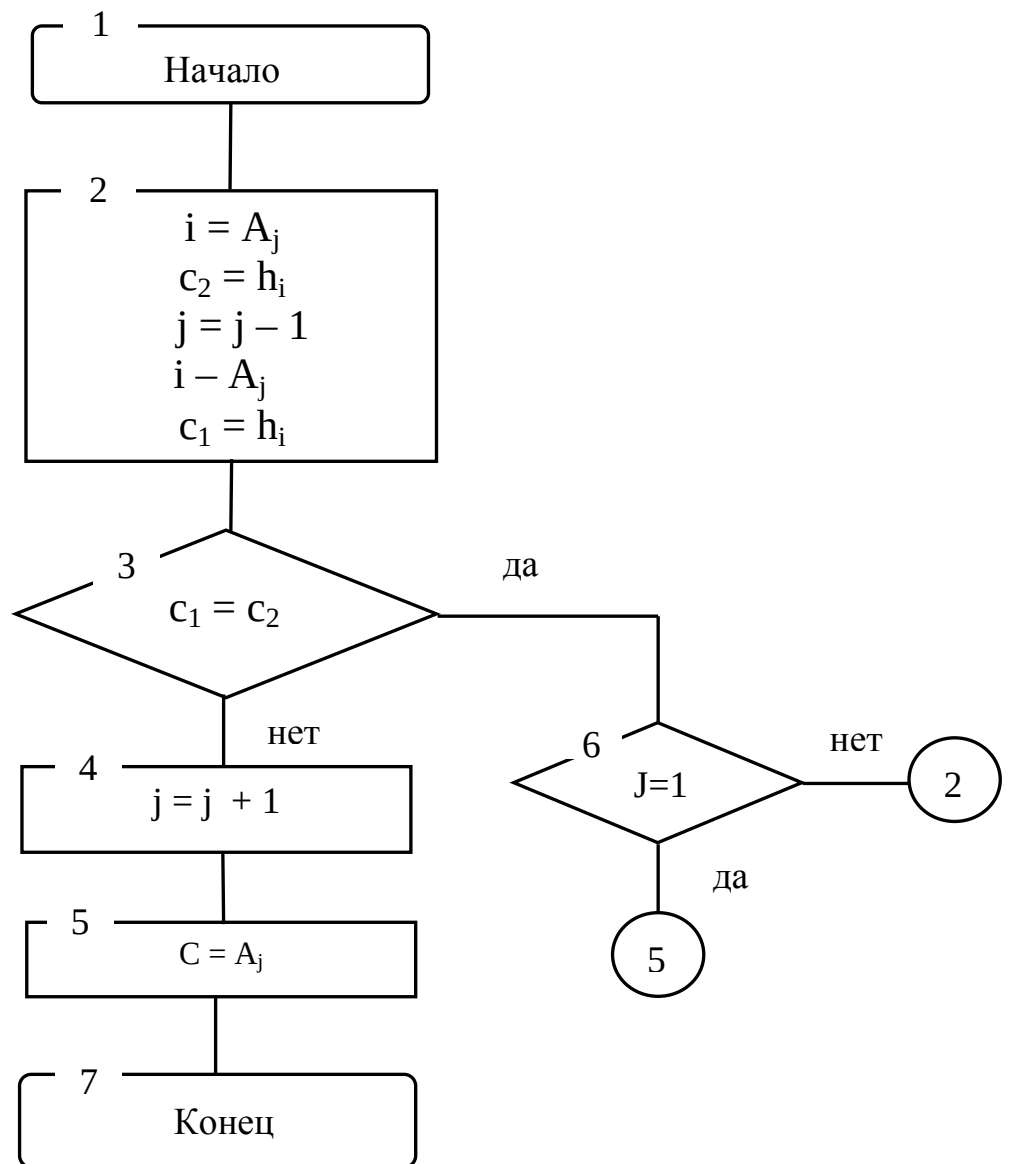


Рисунок 3.4 – Блок - схема подпрограммы ND – определения номера доски в поставе для изменения её толщины на один шаг

4 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине без учёта случайной их формы и ориентации относительно постава пил

4.1 Общие методические положения

Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства зависят от большого количества факторов: от диаметра, длины, эллиптичности и кривизны брёвен, от технологии подготовки брёвен к распиловке, где важнейшим параметром является дробность сортировки брёвен по толщине; от структуры и параметров поставов, а также от качества ориентации брёвен относительно постава пил; от технологии окончательной обработки пиломатериалов после сушки, где важнейшим параметром является градация длин досок; от стоимости сырья; от затрат на производство пиломатериалов и от распределения этих затрат по стадиям технологического процесса, а также от многих других факторов биологического, технологического и организационно - экономического характера.

Для сокращения практически необозримого количества комбинаций указанных переменных величин исследования в данном разделе проводятся без учёта случайной изменчивости формы бревна и его ориентации относительно постава пил.

В следующих двух разделах исследуется влияние неучтённой в данном разделе эллиптичности, кривизны брёвен и их смещённости относительно постава пил на установленные наиболее характерные закономерности изменения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства с оценкой и уточнением сделанных выводов.

Исследования зависимости объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине проводятся на брёвнах толщиной и длиной 16 см / 5,5 м с использованием постава № 1: 22 – 100 – 22; 22 – 40/3 – 22 с теоретическим максимальным объёмным выходом (форма и размеры бревна – номинальные теоретические, поперечное смещение бревна относительно пил отсутствует, длины досок – от 1 до 6,5 м с градацией – 0,25 м) 55,38 %; постанва № 2: 22 – 125 – 22; 22 – 32/3 – 22 с теоретическим максимальным объёмным выходом 54,19 %; постанва № 3: 22 – 100 – 22; 22 – 32/3 – 22 с теоретическим максимальным объёмным выходом 52,40 %, на брёвнах 22 см / 5,5 м с использованием постанва № 4: 25 – 150 – 25; 25 – 50/3 – 25, обеспечивающего теоретический максимальный объёмный выход 60,21 %; постанва № 5: 25/2 – 100 – 25/2; 25 – 50/3 – 25 с теоретическим максимальным объёмным выходом 58,51 %; постанва № 6: 25/2 – 100 – 25/2; 25/3 – 50 – 25/3 с теоретическим максимальным объёмным выходом 57,04 %, на брёвнах 26 см / 5,5 м с использованием постанва № 7: 25/2 – 150 – 25/2; 25/2 – 50/3 – 25/2 с теоретическим максимальным объёмным выходом 61,39 %; постанва № 8: 25/3 – 125 – 25/3; 25/2 – 50/3 – 25/2 с теоретическим максимальным объёмным выходом 60,69 %; постанва № 9: 25/2 – 150 – 25/2; 25/9 с теоретическим максимальным объёмным выходом 59,63 %. Генерирование поставов для брёвен толщиной 16 см производится с использованием толщин и ширин досок: 22, 32, 40, 100, 125, 150 мм; для брёвен 22 и 26 см: 25, 32, 50, 100, 125, 150 мм. Исследования объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности производства проводятся при минимальной длине доски 1,5 м с градацией 0,3 м, а исследования рентабельности - при доле сырьевых затрат в себестоимости производства пиломатериалов ДСЗ = 0,8 и ДСЗ = 0,6. Для уточнения закономерностей дополнительно используются другие значения указанных параметров [87].

4.2 Фактор номинальной толщины брёвен

Результаты исследований объёмного выхода пиломатериалов представлены в таблицах 4.1...4.3 и на рисунках 4.1...4.3. По оси абсцисс откладывается величина максимального отклонения диаметра бревна от расчётной величины при равновероятном законе распределения. Так, например, значение 10 на оси абсцисс на рисунке 4.1 означает, что в распиловочной партии диаметры брёвен варьируют в пределах ± 10 мм или от 150 до 170 мм, то есть используется сортировка брёвен по чётным диаметрам (по одному чётному диаметру).

Таблица 4.1 – Рентабельность лесопильного производства и объёмный выход пиломатериалов при раскросе брёвен 16 см/5,5 м, длинах досок 1,5...6,3 м и ДСЗ = 0,8

Амплитуда варьирования толщины бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 1	Постав 2	Постав 3	Постав 1	Постав 2	Постав 3
2,5	-7,4	-6,2	-8,2	51,88	53,80	52,34
5	4,7	4	4	51,69	52,59	52,28
10	11,6	8,6	10,5	51,41	51,19	51,73
15	12,5	10,8	11,9	50,51	50,90	51,05
20	13	13	13	50,02	51,19	50,79
25	13,6	13,1	13,8	49,81	50,59	50,64
30	14	14,2	14,8	49,61	50,85	50,66

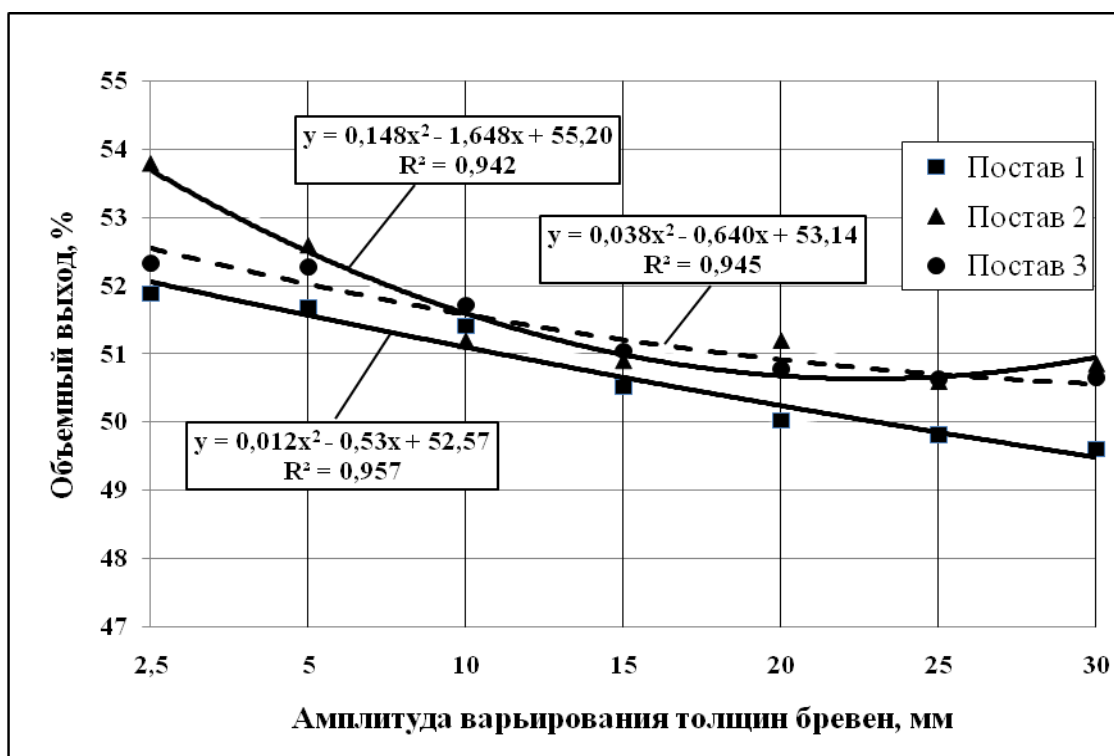


Рисунок 4.1 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 16 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м

Из рисунка 4.1 видно, что зависимость объёмного выхода пиломатериалов (традиционного критерия эффективности лесопильного производства) от амплитуды варьирования толщины брёвен при номинальном (расчётном) диаметре 16 см, в свою очередь, зависит от структуры (набора толщин пиломатериалов) и качества поставки (расчётного объёмного выхода). Причём, последняя зависимость имеет явно нелинейный характер. Так, лучший и худший из рассмотренных поставов (№ 1 и № 3) имеют схожие (со сдвигом) зависимости, а средний (№ 2) имеет явно не промежуточную зависимость.

Таблица 4.2 – Рентабельность и объёмный выход пиломатериалов при раскросе брёвен 22 см/5,5 м, длинах досок 1,5...6,3 м и ДСЗ=0,8

Амплитуда варьирова- ния толщины бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-7,3	-9	-8,2	60,15	58,68	57,30
5	4,9	3,2	4	60,03	58,64	57,24
10	10,5	9,6	9,7	58,97	58,09	56,37
15	12,4	11,9	11,6	58,52	57,86	56,00
20	13	13	13	58,04	57,67	55,98
25	13	13,5	13,8	57,57	57,44	55,81
30	12,5	14	14,1	56,95	57,33	55,77

При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 2,5 мм до 30 мм объёмный выход пиломатериалов уменьшается на 1,68...2,95 %, при изменении амплитуды от 2,5 мм до 10 мм – на 0,47...2,6 %, при изменении от 10 мм до 30 мм – на 0,34...1,81 %, при изменении амплитуды от 10 мм до 20 мм – на 0...1,39 %, при изменении от 20 мм до 30 мм объёмный выход снижается на 0,13...0,42 %.

Полученные результаты указывают на то, что максимально возможная (теоретическая) дробность сортировки брёвен по толщине при номинальном значении толщины 16 см повышает объёмный выход пиломатериалов до 2,95 %. Причём, наибольший эффект (0,47...2,60 %) даёт переход от нормативной дробности сортировки брёвен по толщине (± 10 мм – по одному чётному диаметру) к сверхточной ($\pm 2,5$ мм). Этим можно объяснить, почему, например, в Финляндии сортировка брёвен производится с точностью ± 5 мм, а не с точностью ± 20 мм, как практикуется в России.

Переход от сортировки брёвен по трём чётным диаметрам (± 30 мм) к сортировки по двум чётным диаметрам (± 20 мм) и переход от сортировки от двух чётных диаметров (± 20 мм) к сортировки по одному чётному диаметру (± 10 мм) теоретически может повышать объёмный выход в зависимости от качества постова на 0...1,39 %.

Поскольку объёмный выход пиломатериалов зависит от большого количества факторов, то вычленив в производственных условиях его прирост от 0 до 1,39 % и связать исключительно с дробностью сортировки брёвен по толщине весьма сложно. Это может служить объяснением, почему производители очень неохотно используют нормативную дробность сортировки брёвен по одному чётному диаметру, тем более что сортировка брёвен по толщине является дорогостоящей технологической операцией.

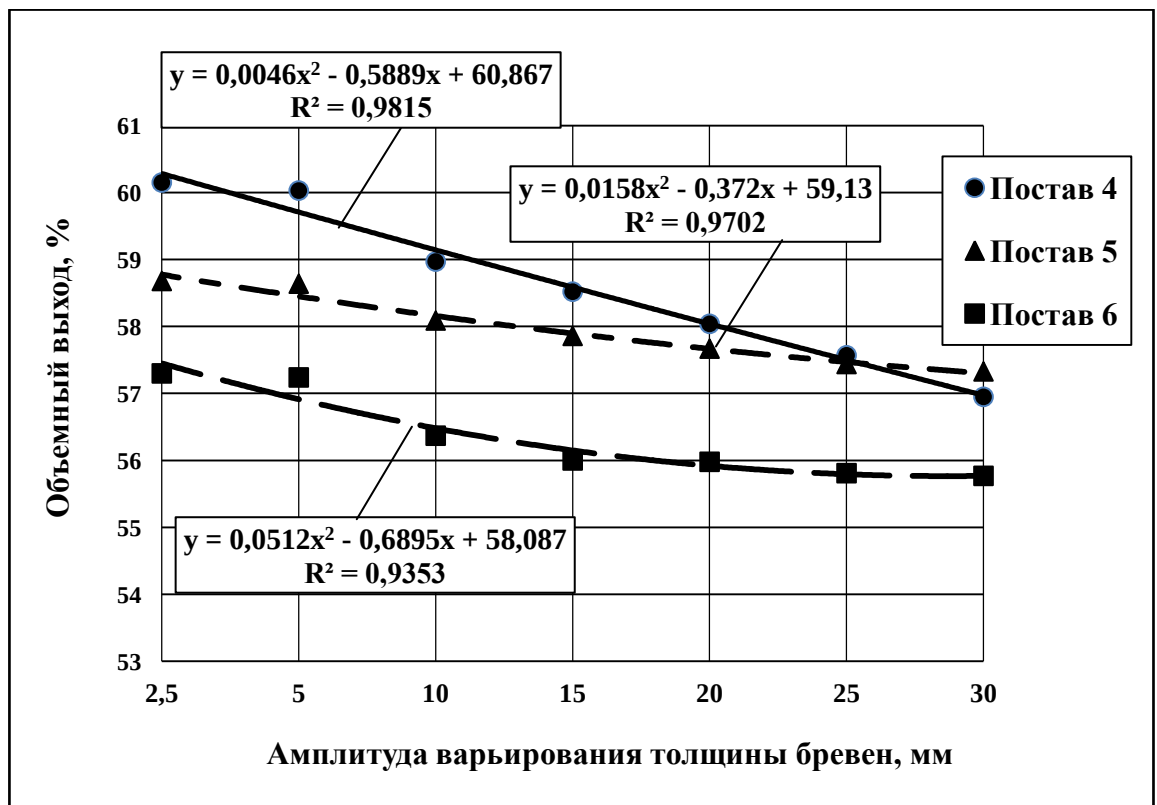


Рисунок 4.2 - Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м

Из рисунка 4.2 видно, что зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при расчётном диаметре 22 см зависит от структуры и качества постова (расчётного объёмного выхода).

При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 2,5 мм до 30 мм объёмный выход пиломатериалов уменьшается на 1,35...3,2 %, при

изменении амплитуды от 2,5 мм до 10 мм – на 0,59...1,18 %, при изменении от 10 мм до 30 мм – на 0,60...2,02 %, при изменении амплитуды от 10 мм до 20 мм – на 0,39...0,93 %, при изменении от 20 мм до 30 мм объёмный выход снижается на 0,21...1,09 %.

Таблица 4.3 – Рентабельность и объёмный выход пиломатериалов при раскросе брёвен 26 см/5,5 м, длинах досок 1,5...6,3 м и ДСЗ=0,8

Амплитуда варьирова- ния толщины бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 7	Постав 8	Постав 9	Постав 7	Постав 8	Постав 9
2,5	-9	-9,3	-8,4	61,20	60,61	59,30
5	2,7	2,4	3,5	60,88	60,31	59,14
10	9,5	9,3	10,2	60,58	60,04	58,80
15	11,9	11,8	12,2	60,45	59,86	58,45
20	13	13	13	60,31	59,71	58,17
25	13,6	13,9	13,3	60,19	59,69	57,89
30	14	14,8	13,2	60,07	59,73	57,58

Из полученных результатов следует, что максимально возможная (теоретическая) дробность сортировки брёвен по толщине при номинальном значении толщины 22 см повышает объёмный выход пиломатериалов до 3,2%. Наибольший эффект (0,59...1,18 %) даёт переход от нормативной дробности сортировки брёвен по толщине (± 10 мм – по одному чётному диаметру) к сверхточной ($\pm 2,5$ мм).

Переход от сортировки брёвен по трём чётным диаметрам (± 30 мм) к сортировки по двум чётным диаметрам (± 20 мм) и переход от сортировки от двух чётных диаметров (± 20 мм) к сортировки по одному чётному диаметру (± 10 мм) теоретически может повышать объёмный выход в зависимости от качества постова на 0,21...1,09 %.

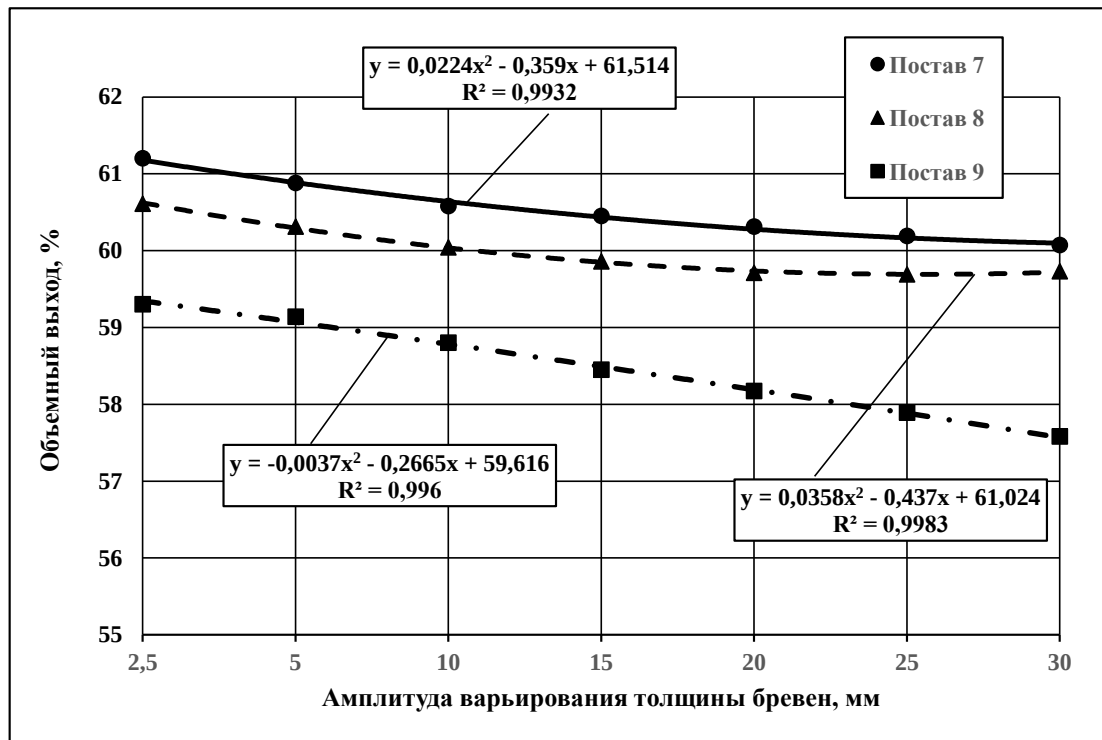


Рисунок 4.3 - Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 26 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м

Из рисунка 4.3 видно, что зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при расчётном диаметре 26 см зависит от структуры и качества постава.

При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 2,5 мм до 30 мм объёмный выход пиломатериалов уменьшается на 0,89...1,72 %, при изменении амплитуды от 2,5 мм до 10 мм – на 0,25...0,62 %, при изменении от 10 мм до 30 мм – на 0,63...1,22 %, при изменении амплитуды от 10 мм до 20 мм – на 0,27...0,63 %, при изменении от 20 мм до 30 мм объёмный выход снижается на 0...0,59 %.

Из полученных результатов следует, что максимально возможная (теоретическая) дробность сортировки брёвен по толщине при номинальном значении толщины 26 см повышает объёмный выход пиломатериалов до 1,72 %. Переход от сортировки брёвен по трём чётным диаметрам (± 30 мм) к сортировки по двум чётным диаметрам (± 20 мм) и переход от сортировки от двух чётных диаметров (± 20 мм) к сортировки по одному чётному диаметру

(± 10 мм) теоретически может повышать объёмный выход в зависимости от качества поставка до 0,63 %.

Сопоставляя графики, представленные на рисунках 4.1, 4.2, 4.3, видим, что влияние варьирования толщин брёвен в распиловочной партии на объёмный выход пиломатериалов при номинальных толщинах 16 см и 22 см статистически не различимо: за счёт сортировки брёвен по толщине для указанной группы номинальных толщин брёвен теоретически можно повысить объёмный выход пиломатериалов до 3,2 %, за счёт реальной в настоящее время сортировка брёвен по одному чётному диаметру можно повысить объёмный выход пиломатериалов до 2 %.

При номинальной толщине брёвен 26 см их сортировка по толщине теоретически может повысить объёмный выход пиломатериалов до 1,7 %, а сортировка по одному чётному диаметру – до 1,2 %.

Таким образом, при толщинах брёвен 16...22 см степень влияния дробности сортировки брёвен по толщине на объёмный выход пиломатериалов в 1,5...2 раза выше, чем при толщине 26 см.

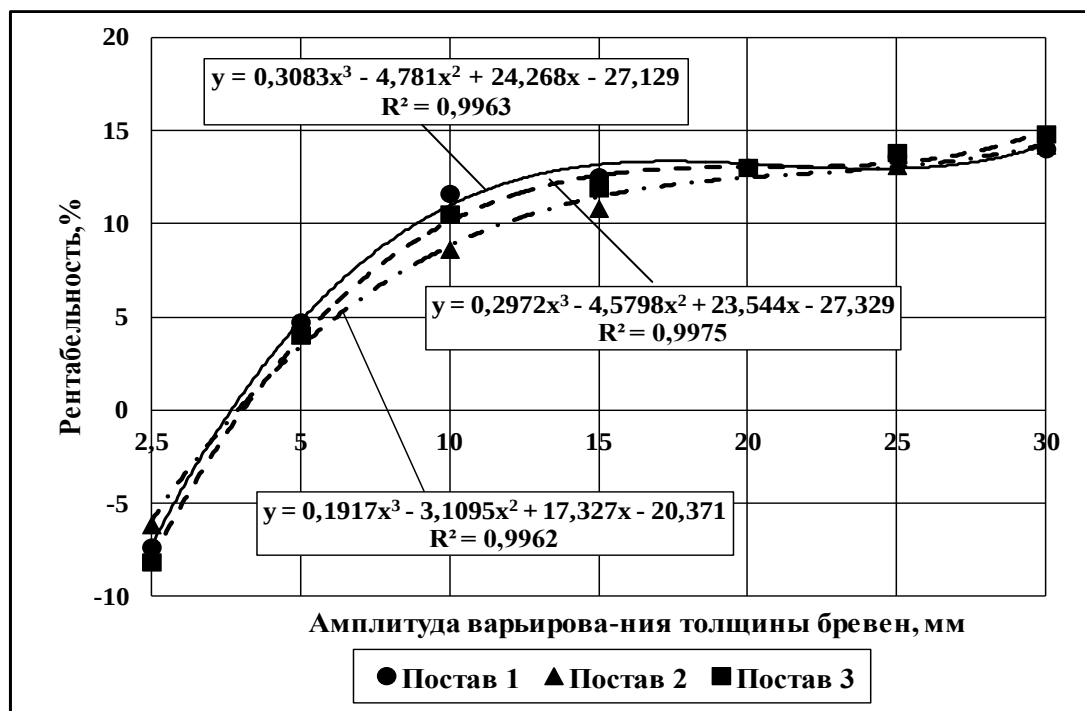


Рисунок 4.4 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 16 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

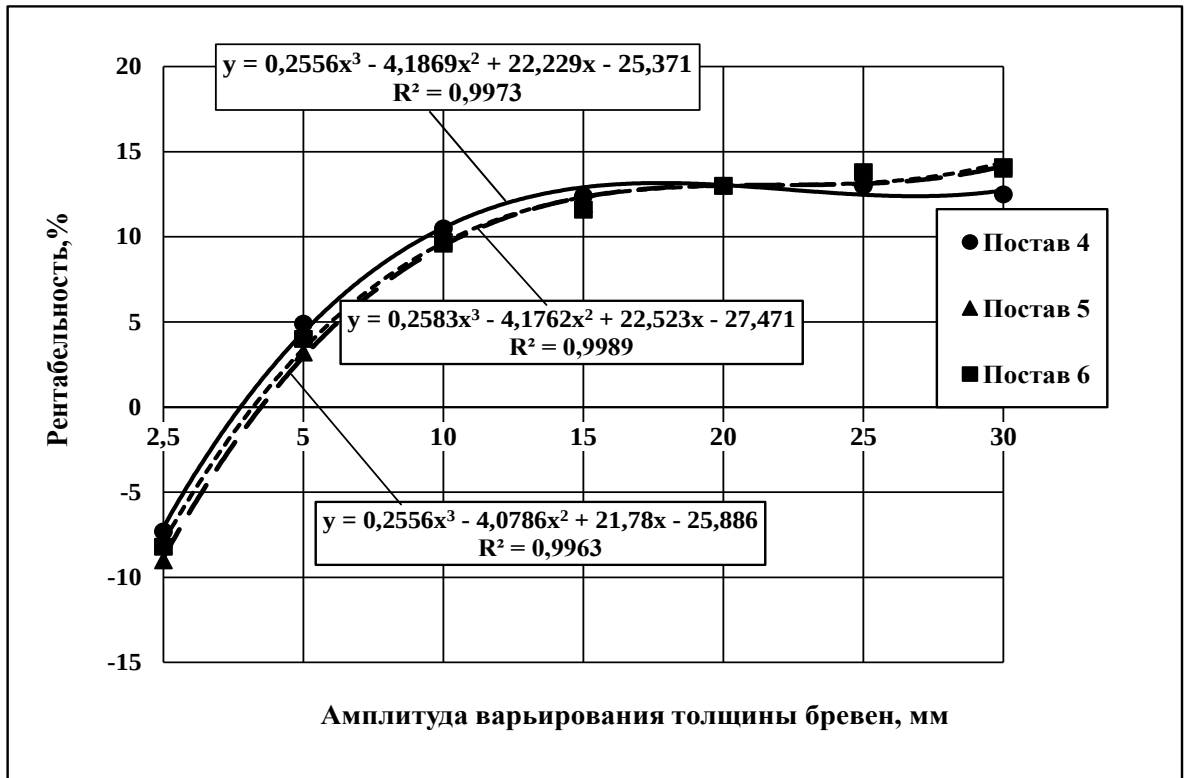


Рисунок 4.5 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 22 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

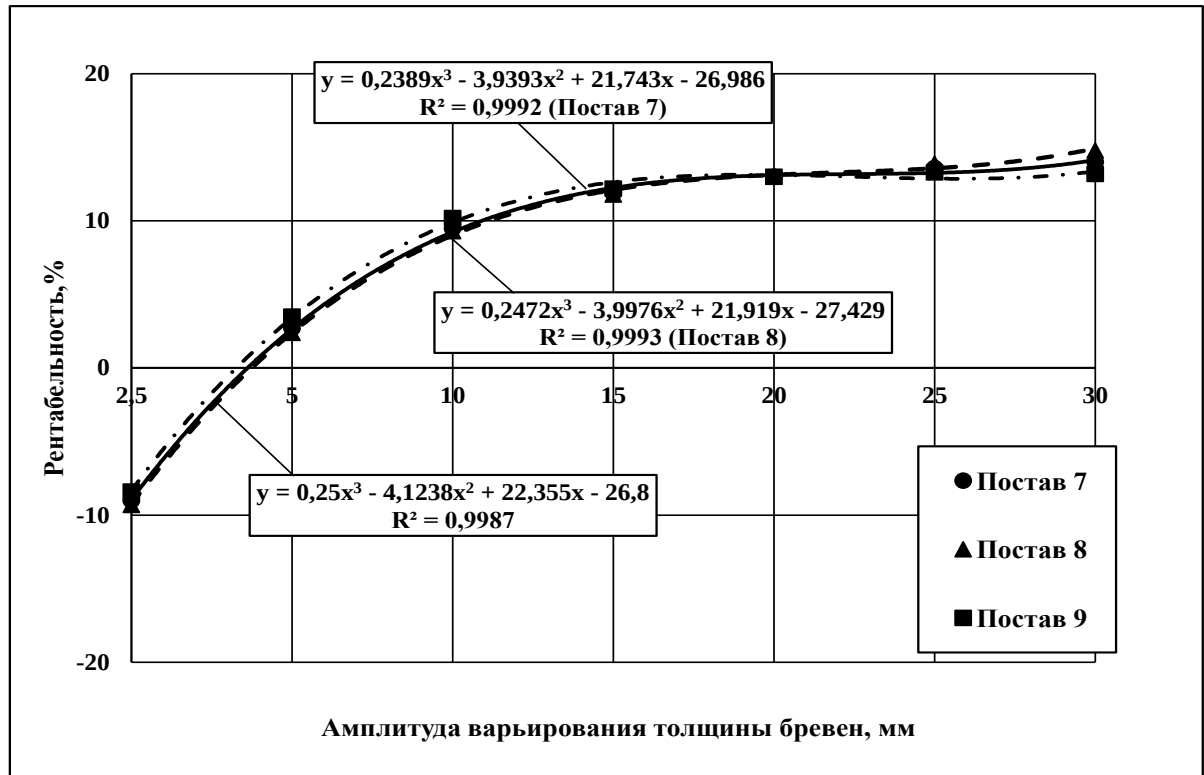


Рисунок 4.6 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 26 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Из рисунков 4.4...4.6 видно, что характер зависимости рентабельности производства от варьирования толщины брёвен в распиловочных партиях брёвен 16 см/5,5 м, 22 см/ 5,5 м и 26 см/ 5,5 м при ДСЗ = 0,8 весьма слабо зависит от поставов и объёмных выходов, которые они обеспечивают. При всех рассмотренных поставках сортировка брёвен с точностью выше $\pm 3,7... \pm 3,8$ мм убыточна, рентабельность возрастает наиболее значительно (на 14,8...19,0 %) при увеличении величины варьирования толщин брёвен от $\pm 2,5$ до ± 10 мм. При увеличении варьирования толщин брёвен от ± 10 до ± 20 мм рентабельность возрастает на 1,4...4,4 %, а при увеличении варьирования толщин брёвен от ± 20 до ± 30 мм рентабельность изменяется в зависимости от эффективности поставка от $-0,5$ % до $+1,8$ %.

Установленные закономерности можно объяснить тем, что при высокой дробности сортировки брёвен по толщине затраты на её реализацию превосходят увеличение выручки, связанное с повышением объёмного выхода пиломатериалов. Переход на сортировку брёвен по двум чётным диаметрам (± 20 мм) упрощает и удешевляет процесс сортировки на столько, что это перекрывает потери, связанные с уменьшением объёмного выхода пиломатериалов. При дальнейшем снижении точности сортировки брёвен потери от снижения объёмного выхода уже могут перекрывать положительный эффект от упрощения процесса сортировки брёвен по толщине.

Как было отмечено выше, из рисунков 4.4...4.6 следует, что характер зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине слабо зависит от номинальной толщины брёвен и от качества поставов. Вместе с тем, анализ соответствующих таблиц 4.4...4.6 показывает, что с увеличением номинальной толщины брёвен в распиловочной партии и снижением качества поставка максимум рентабельности имеет тенденцию смещаться 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).

Отмеченная, весьма слабая тенденция позволяет предположить, что при использовании неоптимальных поставов для распиловки брёвен не идеальной формы при несовершенном базирования максимум рентабельности будет смещаться в сторону более грубой сортировки брёвен по диаметрам с меньшей дробностью, то есть, к сортировке по трём и более чётным диаметрам.

4.3 Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства как конкурирующие критерии оптимальности лесопильного производства

Учитывая, что в данных исследованиях рентабельность производства и объёмный выход пиломатериалов рассматриваются как конкурирующие критерии эффективности лесопильного производства, описанные выше зависимости для брёвен диаметром 22 см, длиной 5,5 м и ДСЗ = 0,8 объединены на одном рисунке 4.7.

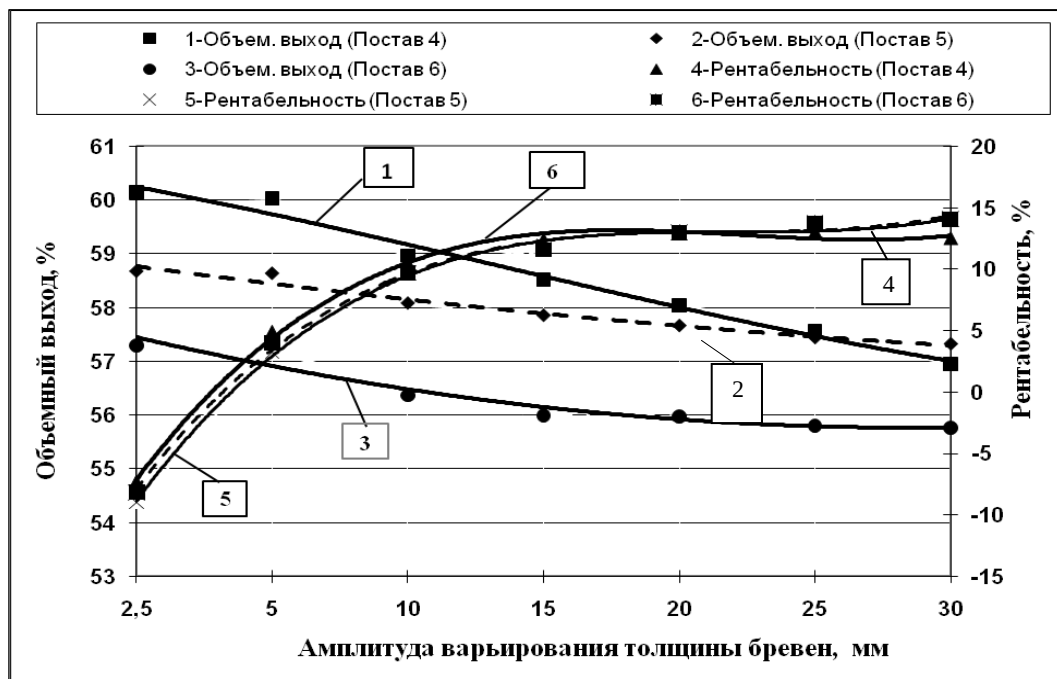


Рисунок 4.7 – Зависимость рентабельности лесопильного производства и объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен

Из рисунка 4.7 видно, что уменьшение дробности сортировки брёвен по толщине до двух чётных диаметров вызывает изменения объёмного выхода и рентабельности с различными знаками: объёмного выхода со знаком минус, а рентабельности со знаком плюс. Отсюда следует принципиально важный вывод – объёмный выход пиломатериалов не может использоваться в качестве критерия экономической эффективности лесопильного производства даже когда стоимость сырья в себестоимости пиломатериалов составляет 80 %.

4.4 Фактор соотношения стоимости сырья и затрат на производство пиломатериалов

Для выяснения, как изменится характер исследуемых зависимостей при изменении доли стоимости брёвен в себестоимости пиломатериалов, проводятся повторные имитационные исследования при уменьшении доли стоимости брёвен с 80 % до 60 % (этим моделируется ситуация, когда снижаются цены на сырьё или повышаются затраты на производство пиломатериалов). Результаты исследований представлены в таблицах 4.4...4.6 и на рисунке 4.8...4.10.

Таблица 4.4 – Рентабельность лесопильного производства при раскросе брёвен 16 см /5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %		
	Постав 1	Постав 2	Постав 3
2,5	-23,2	-22,3	-23,9
5,0	-4,9	-5,5	-5,5
10,0	7,8	4,8	6,7
15,0	11,2	9,4	10,6
20,0	13,0	13,0	13,0
25,0	14,5	15,2	14,7
30,0	15,4	15,7	16,3

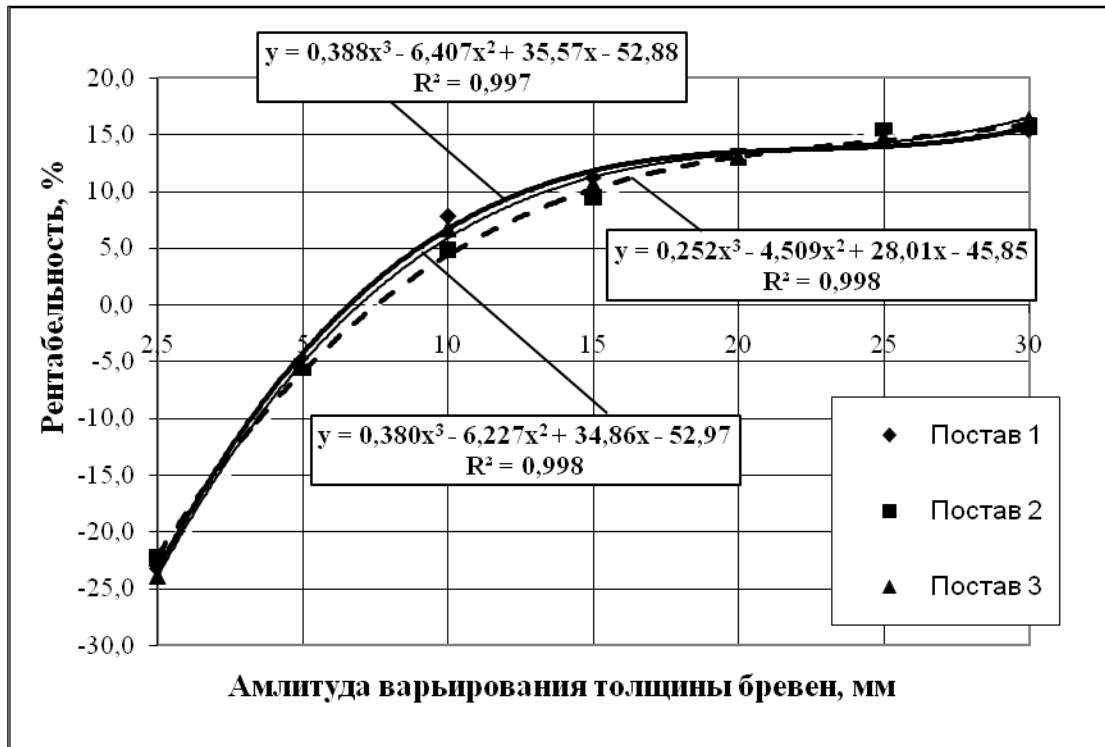


Рисунок 4.8 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 16 см /5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Таблица 4.5 – Рентабельность лесопильного производства при раскросе брёвен 22 см /5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-23,2	-24,6	-23,9
5	-4,7	-6,2	-5,5
10	6,7	5,8	5,9
15	11,1	10,5	10,3
20	13	13	13
25	13,9	14,4	14,7
30	14	15,5	15,6

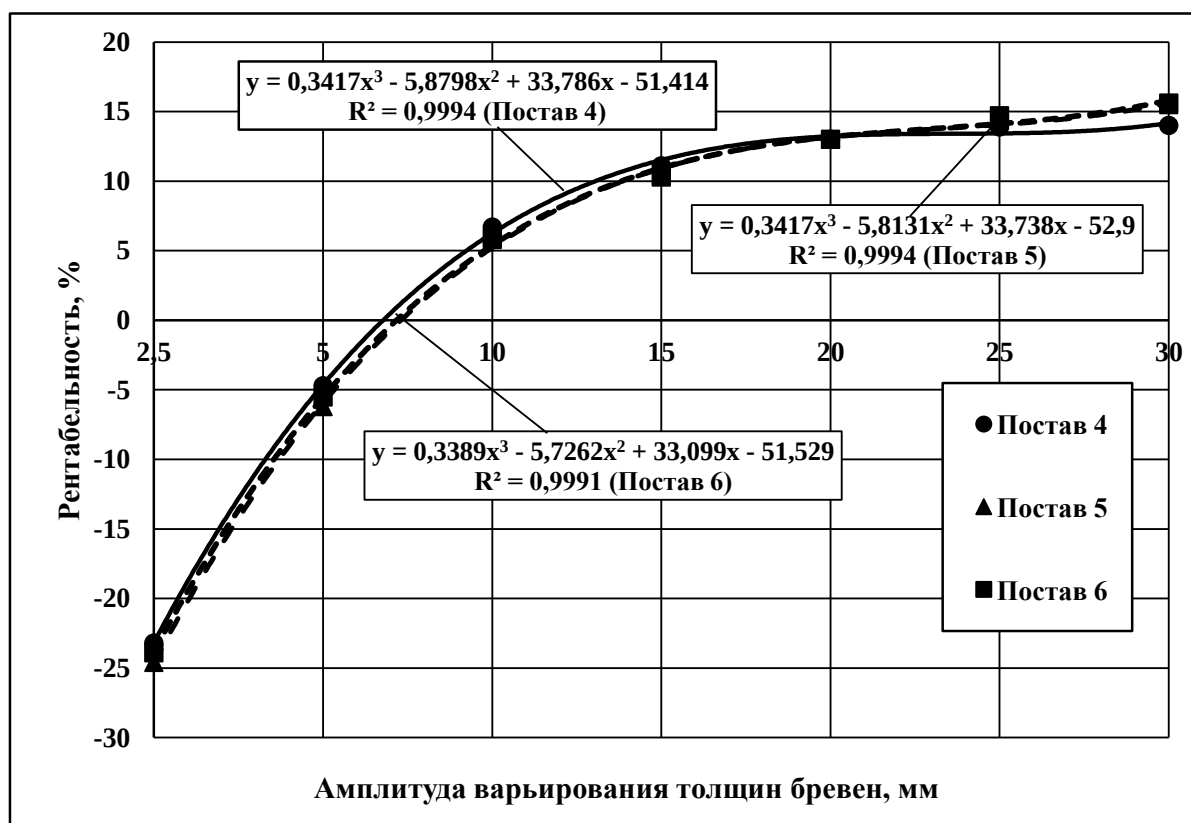


Рисунок 4.9 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 22 см /5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Таблица 4.6 – Рентабельность лесопильного производства при раскрое брёвен 26 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Амплитуда варьирования толщин брёвен, мм	Рентабельность, %		
	Постав 7	Постав 8	Постав 9
2,5	-24,5	-24,8	-24,1
5	-6,7	-7	-5,9
10	5,7	5,5	6,4
15	10,5	10,4	10,8
20	13	13	13
25	14,5	14,8	14,1
30	15,5	16,2	14,7

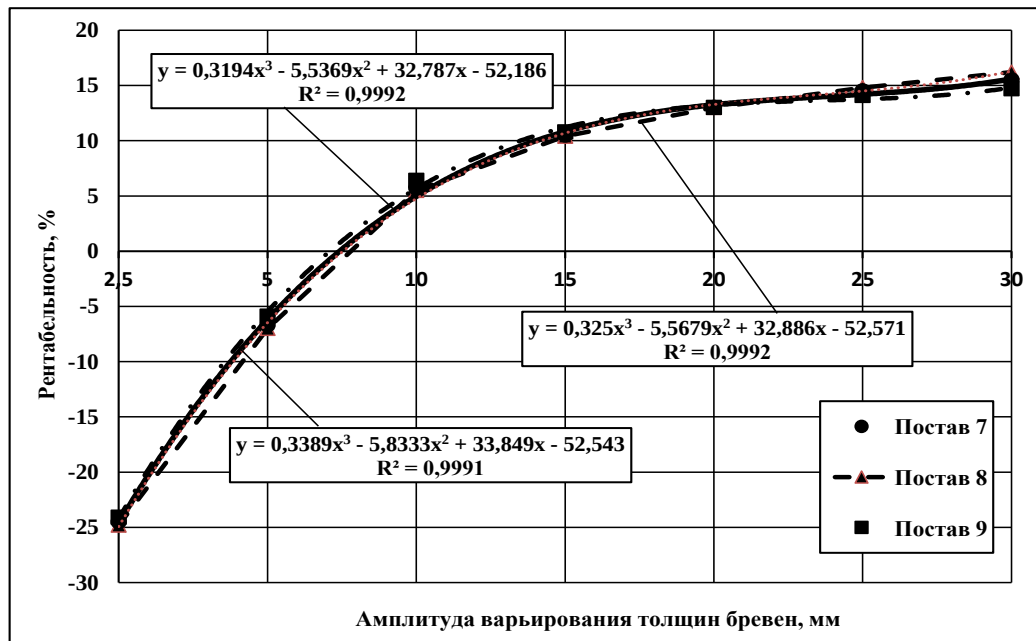


Рисунок 4.10 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 26 см/5,5 м при длинах досок 1,5...6,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6

Сравнивая зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при разной доли стоимости сырья в себестоимости пиломатериалов (ДСЗ = 0,8; рисунки 4.4...4,6 и ДСЗ=0,6; рисунки 4.8...4.10), видим, что графики при ДСЗ = 0,6 «смещаются вправо» по сравнению с графиками при ДСЗ = 0,8. То есть, с уменьшением доли стоимости брёвен в себестоимости пиломатериалов с 80 % до 60 % повышение точности сортировки брёвен по толщине до ± 7 мм уже делает производство пиломатериалов не рентабельным. А с уменьшением дробности сортировки брёвен с ± 5 мм до ± 30 мм рентабельность возрастает на 18,7..23,2 %, то есть примерно в 2 раза сильнее, чем при ДСЗ = 0,8 (7,6...12,4 %). Это значит, что с увеличением точности сортировки затраты на её осуществление нарастают тем сильнее, чем выше их доля в себестоимости пилопродукции. Иными словами, с повышением дробности сортировки эффект от повышения объёмного выхода пиломатериалов перекрывается нарастающими затратами на сортировку тем сильнее, чем выше их доля в себестоимости пиломатериалов. Или, ещё проще – чем дешевле сырьё и чем дороже его обработка, тем с меньшей точностью его следует сортировать.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что уменьшение дробности сортировки брёвен длиной 5,5 метра до 2-х чётных диаметров при расчётных диаметрах 16 см, 22 см, 26 см и при ДСЗ = 0,8 экономически оправданно, а уменьшение дробности до 3-х чётных диаметров, может, как снижать рентабельность, так и увеличивать её в пределах от - 0,5 до + 1,8 %. При ДСЗ = 0,6 экономически нецелесообразно сортировать брёвна менее, чем через три чётных диаметра. Этот вывод имеет предварительный характер, так как пока не исследовано влияние неучтённых случайных характеристик формы бревна и точности его базирования при распиловке на рентабельность производства пиломатериалов.

4.5 Фактор длины бревна

Для оценки влияния длины бревна на характер зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине исследования повторяются на брёвнах толщиной и длиной 22 см / 4 м при длинах досок от 1,5 до 6,3 м с градацией 0,3 м.

Результаты исследований представлены в таблице 3.7 и на рисунках 4.11, 4.12.

Таблица 4.7 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при раскрое брёвен 22 см/ 4 м, при длинах досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность в долях, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-4,9	-7,0	-11,3	61,16	59,37	54,81
5	7,5	5,4	1,8	61,00	59,32	55,46
10	12,0	9,8	7,9	59,30	57,65	54,89
15	12,8	11,3	10,7	58,35	56,99	54,98
20	13,0	13,0	13,0	57,75	57,10	55,40
25	13,2	14,4	14,7	57,39	57,29	55,77
30	13,1	15,4	15,7	57,00	57,46	55,90

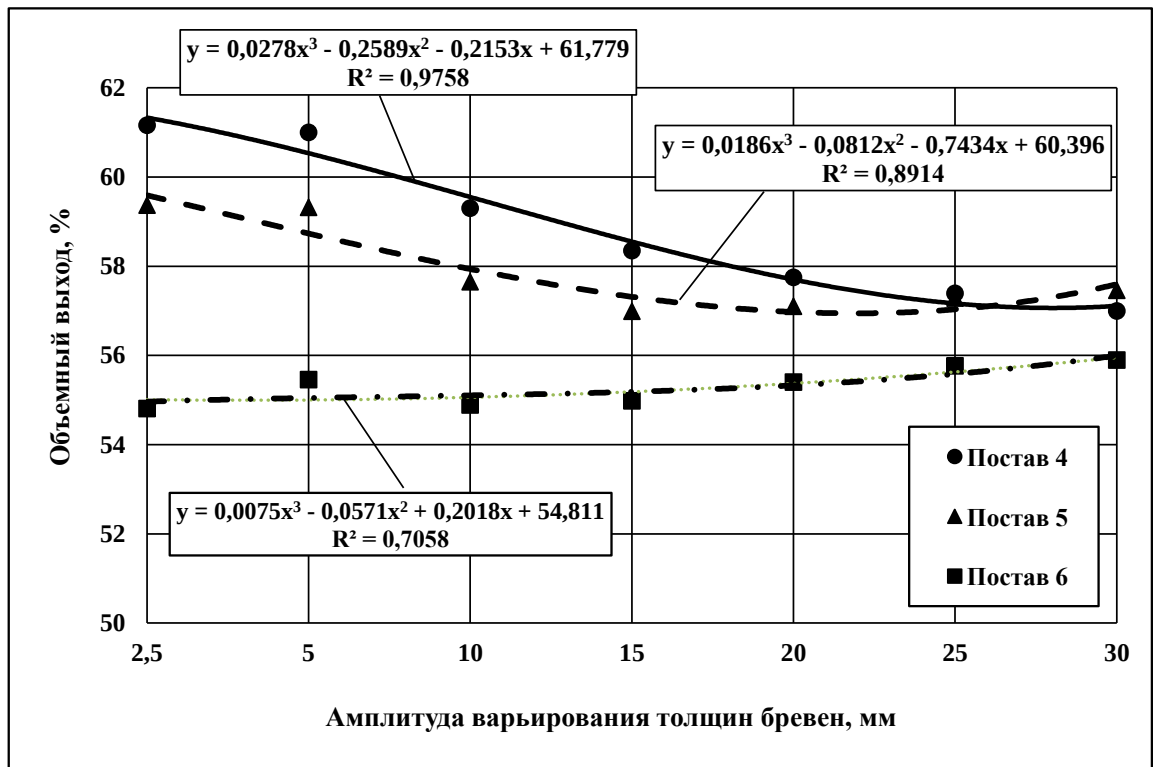


Рисунок 4.11 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/4 м при длинах досок от 1,5 до 6,3 с градацией 0,3 м

Из таблицы 4.7 и рисунка 4.11 видно, что зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при расчётном диаметре и длине 22 см/ 4 м зависит от структуры и качества поставки (расчётного объёмного выхода). Однако при длине бревна 4 м в отличие от длины бревна 5,5 м (рисунок 4.2) при поставе № 6 с низким теоретическим максимальным объёмным выходом общепризнанная закономерность снижения объёмного выхода при снижении дробности сортировки (от 1 до 3 чётных диаметров) нарушается, и объёмный выход возрастает с увеличением амплитуды варьирования толщины брёвен. Поэтому из дальнейшего анализа зависимость «постав 6» временно исключается. Для установления причин обнаруженной зависимости проводятся дополнительные исследования с переходом на длины досок от 1 до 6,5 м с градацией 0,25 м (таблица 4.8, рисунок 4.13).

Для оставшихся двух поставов при изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 2,5 мм до 30 мм объёмный выход

пиломатериалов уменьшается на 1,90...4,11 % (при длине 5,5 м – на 1,35...3,20 %), при изменении амплитуды от 2,5 мм до 10 мм – на 1,73...1,87 %, (при 5,5 м – на 0,59...1,18 %), при изменении от 10 мм до 30 мм – на 0,18...2,25 % (при длине 5,5 м – на 0,60...2,02 %), при изменении амплитуды от 10 мм до 20 мм – на 0,51...1,55 % (при длине 5,5 м – на 0,39...0,93 %), при изменении от 20 мм до 30 мм объёмный выход снижается на 0,36...0,71 % (при 5,5 м - на 0,21...1,09 %).

Из полученных результатов следует, что максимально возможная (теоретическая) дробность сортировки брёвен по толщине при номинальном значении толщины и длины 22 см/ 4 м повышает объёмный выход пиломатериалов до 4,11 % (при 22 см/ 5,5 м - до 3,2%). Наибольший эффект – 1,73...1,87 % (при 22 см/ 5,5 м - 0,59...1,18 %) даёт переход от нормативной дробности сортировки брёвен по толщине (± 10 мм – по одному чётному диаметру) к сверхточной ($\pm 2,5$ мм).

Переход от сортировки брёвен по трём чётным диаметрам (± 30 мм) к сортировки по двум чётным диаметрам (± 20 мм) и переход от сортировки от двух чётных диаметров (± 20 мм) к сортировки по одному чётному диаметру (± 10 мм) теоретически может повышать объёмный выход в зависимости от качества поставка – на 0,36...1,55 % (22 см/5,5 м на 0,21...1,09 %).

В среднем чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по диаметрам при уменьшении длины с 5,5 м до 4 м возрастает примерно на 30 %.

Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от длины брёвен при учёте варьирования их толщины внутри распиловочной партии не так однозначна, как принято считать в теории лесопиления, которая оперирует с неизменными номинальными толщинами брёвен. Известно, что при фиксированном номинальном диаметре бревна объёмный выход пиломатериалов возрастает с уменьшением длины бревна. Исследования, представленные в таблицах 4.2 и 4.7, показывают, что эта закономерность подтверждается, если поставки имеют высокие теоретические объёмные

выходы (постав №4, №5) и амплитуда варьирования толщин брёвен не велика. Так, для лучшего постава №4 зависимость объёмного выхода от длины бревна соответствует общепринятой до амплитуды варьирования толщин брёвен ± 10 мм (один чётный диаметр), для постава №5 с меньшим теоретическим объёмным выходом – до ± 5 мм, для худшего постава №6 эта зависимость при любой амплитуде варьирования толщин брёвен имеет противоположный характер. При амплитуде ± 30 мм зависимость опять меняет знак.



Рисунок 4.12 – Зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии 22 см/4 м при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8 и при длинах досок от 1,5 до 6,3 с градацией 0,3 м

Из рисунка 4.12 и таблицы 4.7 видно, что зависимость рентабельности производства от варьирования толщин брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/ 4 м при ДСЗ = 0,8 в большей мере, чем при длине 5,5 м (рисунок 4.5, таблица 4.2) зависит от поставов и объёмных выходов, которые они обеспечивают. При использовании не оптимальных (по критерию объёмного выхода) поставов максимум рентабельности более явно смещается в сторону трёх и более чётных диаметров.

При всех рассмотренных поставках сортировка брёвен с точностью выше $\pm 3,7 \dots \pm 4,7$ мм убыточна, рентабельность возрастает наиболее значительно (на $16,9 \dots 19,2$ %) при увеличении величины варьирования толщин брёвен от $\pm 2,5$ до ± 10 мм. При увеличении варьирования толщин брёвен от ± 10 до ± 20 мм рентабельность возрастает на $1,0 \dots 5,1$ %, а при увеличении варьирования толщин брёвен от ± 20 до ± 30 мм рентабельность изменяется от $-0,1$ % до $+2,7$ %.

Сравнительные исследования показывают, что рентабельность производства при длине бревна 4 м в среднем на 1 % больше, чем при длине 5,5 м при использовании поставов № 4 и № 5. Для поставы № 6 изменение рентабельности при переходе от длины 5,5 м к длине 4 м в зависимости от амплитуды варьирования толщины составляет от $-3,1$ % до $+1,6$ %.

Таким образом, для брёвен толщиной и длиной 22 см/ 4 м характер зависимости рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии практически идентичен одноимённой зависимости для брёвен 22 см/ 5,5 м. Поэтому при решении вопроса дробности сортировки брёвен по толщине можно ограничиваться одной доминирующей или средневзвешенной длиной. В неоднозначных ситуациях следует иметь ввиду, что при увеличении длин брёвен оптимум дробности сортировки по толщине смещается в сторону более грубой сортировки.

Вернёмся к аномальной зависимости «постав 6» (таблица 4.7, рисунок 4.11), когда объёмный выход пиломатериалов возрастает с увеличением амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии брёвен.

Предположим, что причиной этого является то, что при переходе с длины бревна 5,5 м на 4 м не получают крайние боковые доски длиной 1,5 метра при толщине бревна близкой к номинальной. При достаточно большом отклонении диаметра в плюс крайние доски «добирают» до необходимых 1,5 м и увеличивают объёмный выход пиломатериалов, а при таком же

отклонении в минус не учтенные в объёмном выходе недопустимо короткие доски «укорачиваются» ещё в большей мере, не снижая объёмного выхода.

Для проверки этого предположения исследования повторяются на брёвнах толщиной и длиной 22 см / 4 м и 22 см / 5,5 м с использованием поставов №4, №5, №6 при длинах досок от 1 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Результаты исследований представлены в таблице 4.8 и 4.9, а также на рисунках 4.13... 4.16.

Таблица 4.8 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при раскросе брёвен 22 см/ 4 м, при длинах досок 1,0...6,5 м с градацией 0,25 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-6,8	-8,7	-8,5	61,26	59,47	57,72
5	5,3	3,5	3,5	61,09	59,41	57,58
10	10,5	9,7	9,1	59,87	58,77	56,65
15	12,4	11,7	11,2	59,30	58,35	56,38
20	13,0	13,0	13,0	58,84	58,24	56,75
25	13,2	13,9	14,2	58,42	58,21	56,70
30	12,8	14,7	14,9	57,89	58,23	56,72

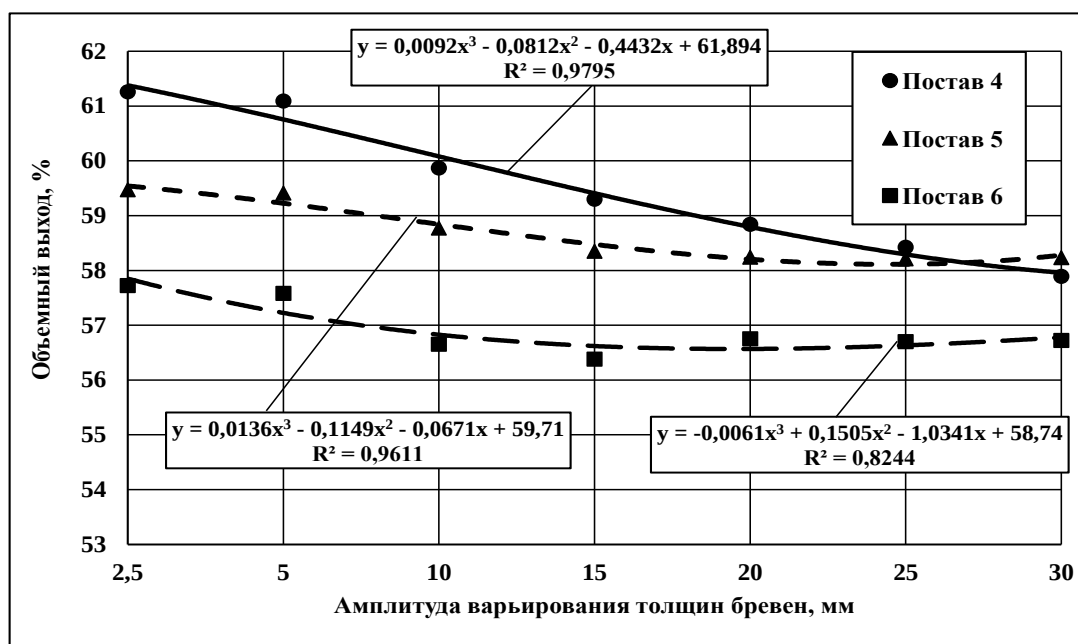


Рисунок 4.13 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/4 м при длинах досок от 1,0 до 6,5 с градацией 0,25 м

Из таблицы 4.8 и рисунка 4.13 видно, что при минимально допустимой длине доски 1 м вместо 1,5 м зависимость объёмного выхода от амплитуды варьирования толщины брёвен принимает вид близкий к общепризнанному виду, когда объёмный выход падает с увеличением амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии. Исключение составляет некоторый подъём кривой линии при переходе с 15 мм до 20 мм. Если увеличивается длина бревна с 4 м до 5,5 м при той же минимальной длине доски 1 м (таблица 4.9, рисунок 4.14), то указанный локальный подъём кривой линии исчезает и зависимость принимает «правильный» вид. Этим доказывается справедливость выдвинутого выше предположения о том, что крайние боковые доски минимальных стандартных размеров формируются при определённых условиях (на что указывает относительно низкий теоретический объёмный выход) за счёт случайного отклонения толщины бревна «в плюс»

Таблица 4.9 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при раскросе брёвен 22 см/ 5,5 м, при длинах досок 1,0...6,5 м с градацией 0,25 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-7,5	-9,0	-9,2	60,23	58,74	57,35
5	4,7	3,1	2,9	60,11	58,71	57,30
10	10,3	9,3	9,2	59,00	58,14	56,73
15	12,1	11,5	11,4	58,60	57,95	56,45
20	13,0	13,0	13,0	58,28	58,05	56,48
25	13,2	13,5	13,8	57,86	57,90	56,41
30	12,7	14,8	13,6	57,27	57,72	56,18

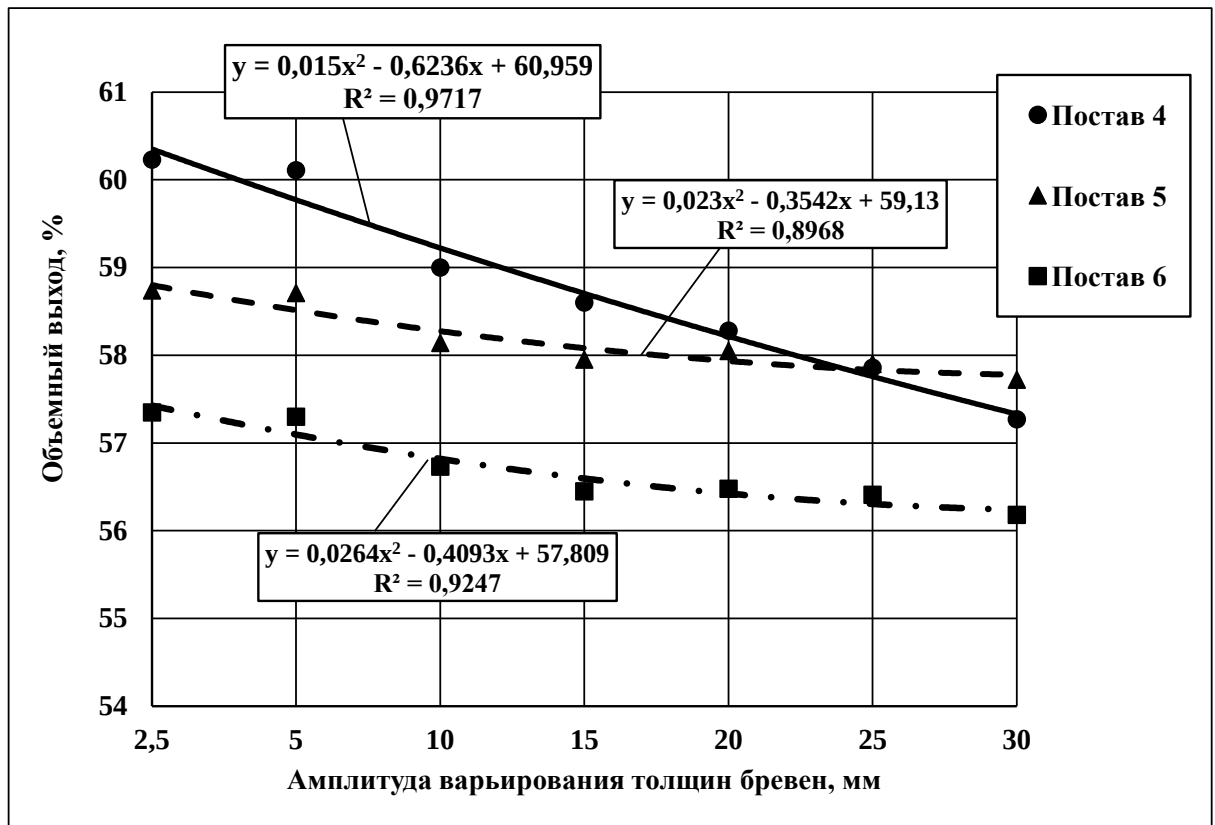


Рисунок 4.14 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/5,5 м при длинах досок от 1,0 до 6,5 с градацией 0,25 м

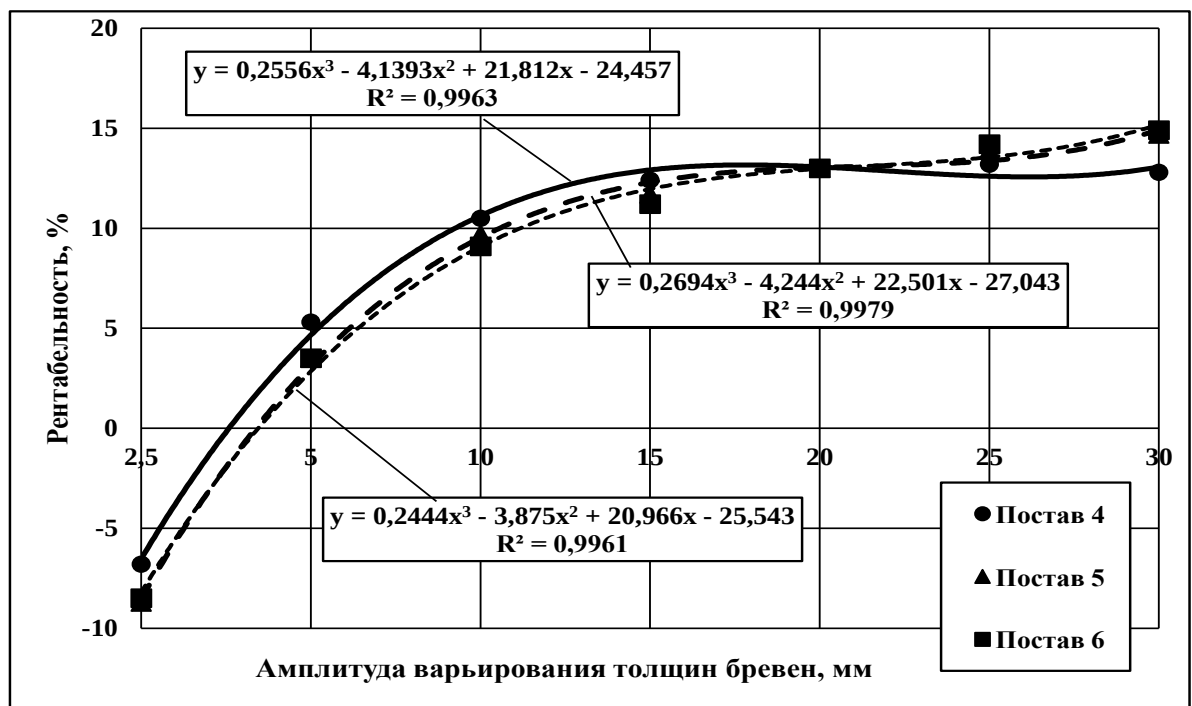


Рисунок 4.15 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/4 м при длинах досок от 1,0 до 6,5 с градацией 0,25 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

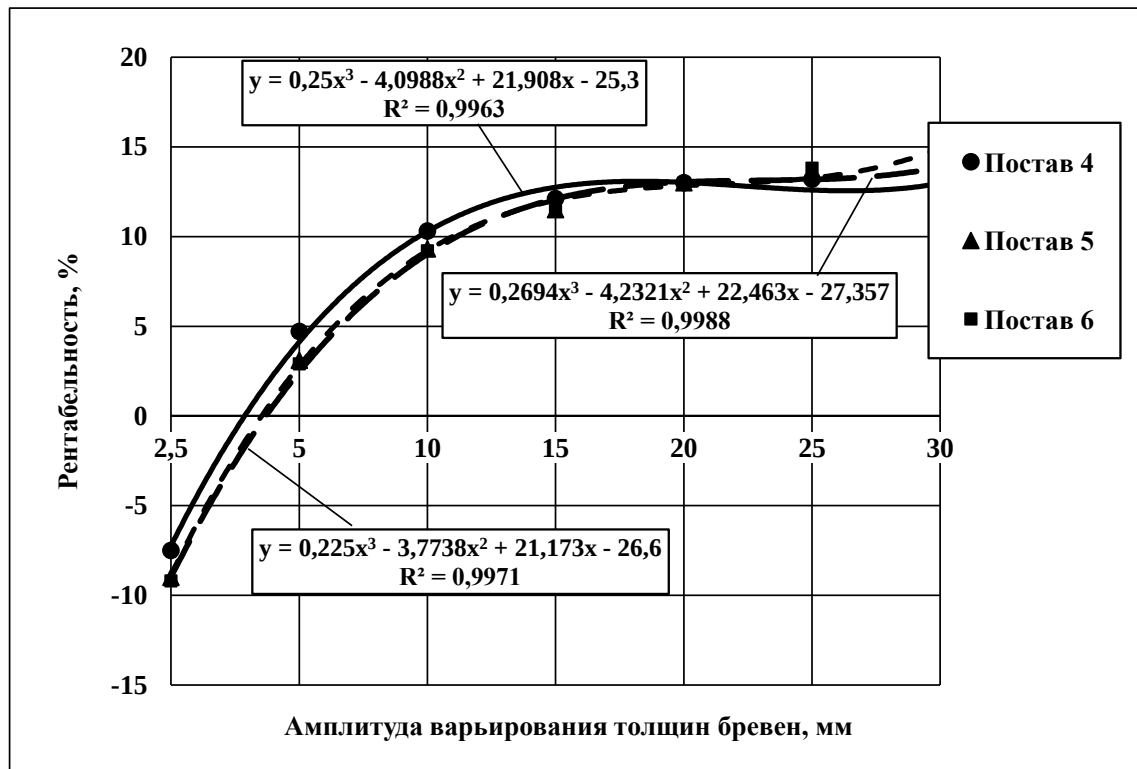


Рисунок 4.16 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/5,5 м при длинах досок от 1,0 до 6,5 с градацией 0,25 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8

Из рисунков 4.15, 4.16 видно, что при переходе с длины бревна 5,5 м на 4 м и переходе с минимальной длины доски 1,5 м на 1 м при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8 характер зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщин брёвен практически не меняется. При увеличении амплитуды варьирования с 2,5 мм до 20 мм рентабельность однозначно растёт. При дальнейшем увеличении рентабельность может, как расти, так и снижаться. Таким образом, проведённые дополнительные имитационные исследования при разных длинах брёвен и при меньших минимальных длинах досок показывают, что зависимость рентабельности производства от дробности сортировки брёвен по диаметрам практически повторяет зависимости, представленные на рисунках 4.4...4.9, 4.12. Этим ещё раз подтверждается ранее сделанный вывод о том, что при решении вопроса дробности сортировки брёвен по толщине можно не учитывать фактор длины бревна.

4.6 Базовые характеристики производства пиломатериалов

Сравнивая таблицы 4.7 и 4.8, а также рисунки 4.12 и 4.15, видим, что представленные в них абсолютные значения рентабельности противоречат логике формирования рентабельности.

Совершенно естественно, что при переходе от минимальной длины досок 1,5 м на 1 м объёмный выход пиломатериалов возрастает. Возрастает объём товарной продукции. При этом должна расти и рентабельность, поскольку в данном разделе изменение затрат в связи с изменением количества длин досок не учитывается. Однако наблюдается противоположная закономерность.

Объясняется это тем, что себестоимость для базового варианта (дробность сортировки пиловочника через 2 чётных диаметра, поставки двухтолщинные рациональные, градация длин досок – 0,3 м) принимается равной 0,13 для всех исследуемых поставок, удовлетворяющих условиям базового варианта, независимо от объёмного выхода. Тогда, чем выше объёмный выход того или иного поставка, тем больший объём товарной продукции, тем большая себестоимость всего объёма пиломатериалов (2.4). При переходе на варианты технологического процесса отличные от базового варианта базовая себестоимость для каждого поставка корректируется (2.7). Изменяется объёмный выход и объём товарной продукции. Определяется рентабельность рассматриваемого варианта (2.9). В результате получается, что чем хуже поставка, тем меньше себестоимость и тем выше рентабельность, если объём товарной продукции снижается из-за уменьшения объёмного выхода менее интенсивно, чем снижается себестоимость от применения менее эффективного поставка.

Исходя из этого, следует признать, что применяемый в данной работе метод обобщенной оценки рентабельности без расчёта конкретных затрат не пригоден для определения рентабельности в абсолютных единицах, если не

известна фактическая себестоимость по базовому варианту. Для выяснения пригодности данного метода для оценки рентабельности в приращениях проводятся дополнительные исследования для брёвен 22 см / 5,5 м с использованием поставов № 4, № 5, № 6 при длинах досок от 1,5 до 6,3 с градацией 0,3 м и при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8 по изменённому алгоритму.

Имитируется раскрой партии из 1000 брёвен по базовому варианту параметров производственного процесса с поочерёдным применением 19 лучших поставов по критерию объёмного выхода пиломатериалов (объёмный выход варьирует в пределах от 54,52 % до 58,04 %) и с определением объёма товарной продукции. Вычисляется базовая себестоимость (2.4) для оптимального поставов с максимальным объёмным выходом 58,04 % при рентабельности 25 %. Затем имитационные исследования дублируются 7 раз при амплитуде варьирования толщины брёвен 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 мм с корректировкой (2.7) базовой (начальной) себестоимости (одинаковой для всех 19 поставов) и определяется рентабельность для всех вариантов и всех поставов (2.9).

Результаты исследований представлены в таблице 4.10 и на рисунке 4.17.

Таблица 4.10 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при раскрое брёвен 22 см / 5,5 м, при длинах досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м, при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8, при постоянной базовой себестоимости и при базовой рентабельности 25 %

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	2,80	0,40	-2,00	60,13	58,68	57,29
5	16,50	13,70	10,90	60,02	58,64	57,24
10	22,70	20,80	17,00	58,93	58,08	56,36
15	24,40	23,30	19,10	58,45	57,85	56,00
20	25,00	24,60	20,60	57,99	57,66	55,97
25	24,70	25,20	21,40	57,39	57,44	55,93
30	24,30	25,70	21,80	56,89	57,32	55,76

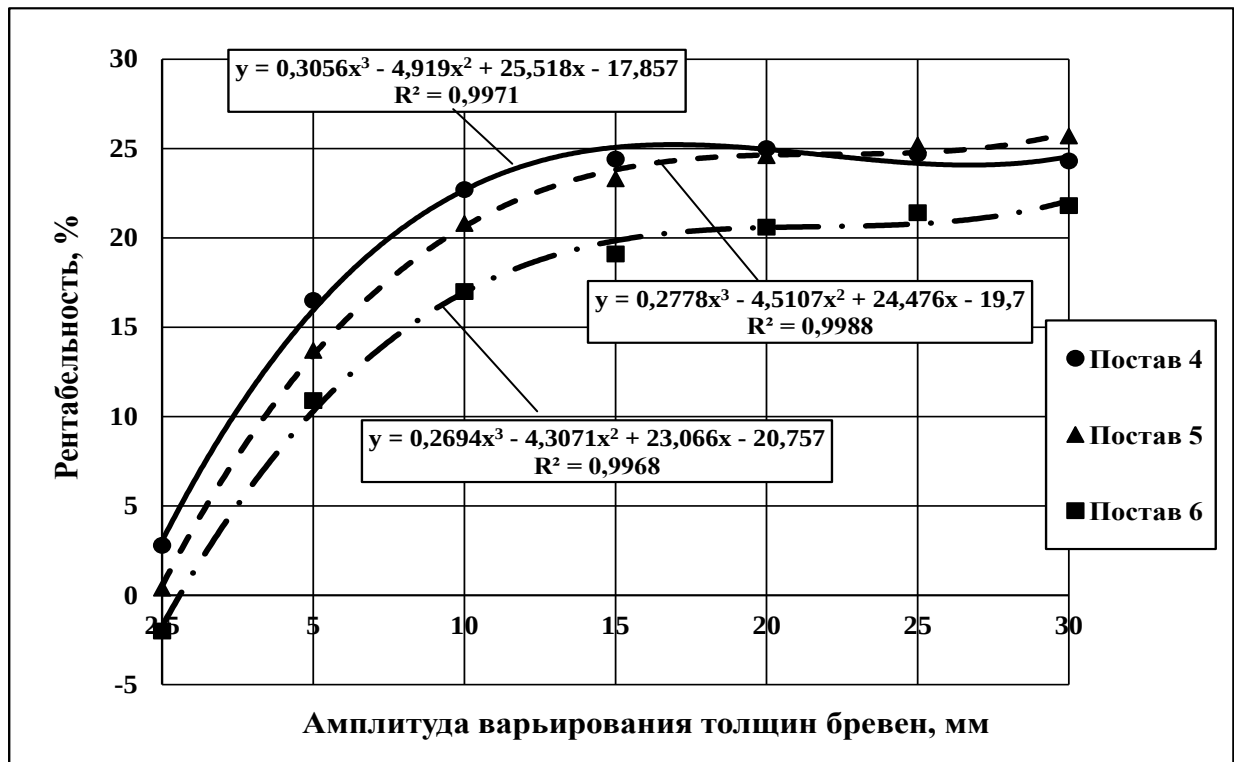


Рисунок 4.17 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен при базовой рентабельности 25 %

Сопоставляя таблицу 4.10, рисунок 4.17 с таблицей 4.2, рисунком 4.5, которые получены с применением разных базовых рентабельностей (13 % и 25 %) и разных алгоритмов с базовыми себестоимостями, зависящими и независящими от применяемых поставов, видим, что зависимости рентабельности от амплитуды варьирования толщин брёвен различаются абсолютными значениями рентабельности и весьма близки в приращениях. Так, при изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 30 мм рентабельность возрастает соответственно для поставов №№ 4, 5, 6 по первому алгоритму на 7,6; 10,8; 10,1 %, а по второму алгоритму – на 7,8; 12; 10,9 %.

Поскольку сравниваемые варианты различаются как базовыми рентабельностями, так и чувствительностью к поставам далее проводятся исследования, различающиеся только базовыми рентабельностями, когда себестоимости не зависят от поставов.

Результаты исследований представлены в таблице 4.11 и на рисунке 4.18.

Таблица 4.11 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при раскросе брёвен 22 см / 5,5 м, при длинах досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м, при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8, при постоянной базовой себестоимости и при базовой рентабельности 13 %

Амплитуда варьирования толщин бревен, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-7,0	-9,3	-11,4	60,13	58,68	57,29
5	5,3	2,8	0,3	60,02	58,64	57,24
10	10,9	9,2	5,8	58,93	58,08	56,36
15	12,4	11,5	7,7	58,45	57,85	56,00
20	13,0	12,6	9,0	57,99	57,66	55,97
25	12,7	13,1	9,8	57,39	57,44	55,93
30	12,4	13,7	10,1	56,89	57,32	55,76

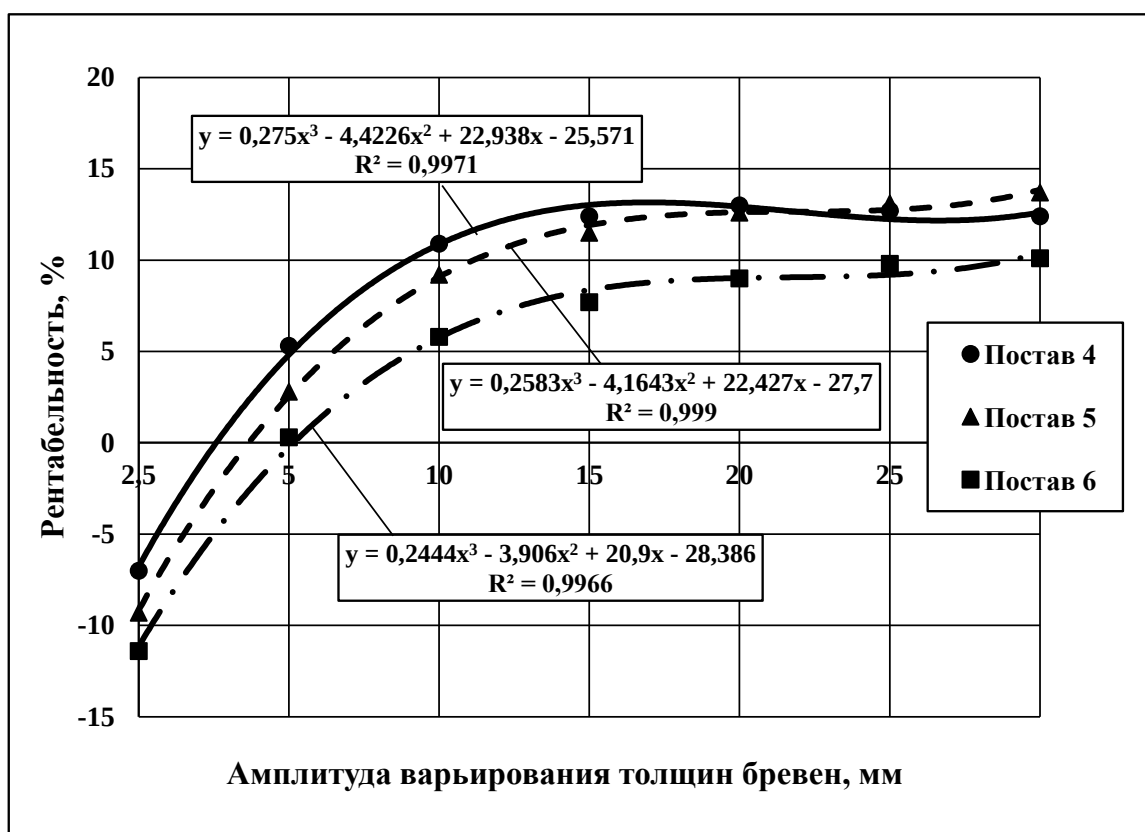


Рисунок 4.18 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен при базовой рентабельности 13 %

Сопоставляя таблицы 4.2, 4.7, 4.8 и рисунки 4.5, 4.17, 4.18, которые получены с применением разных базовых рентабельностей (13 % и 25 %) и

разных методик, а также одинаковых базовых рентабельностей (13 %) и разных методик, можно видеть, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен весьма близки в приращениях. Для графической иллюстрации этой близости и сопоставления анализируемых зависимостей в абсолютных значениях изобразим их на одном рисунке 4.19.

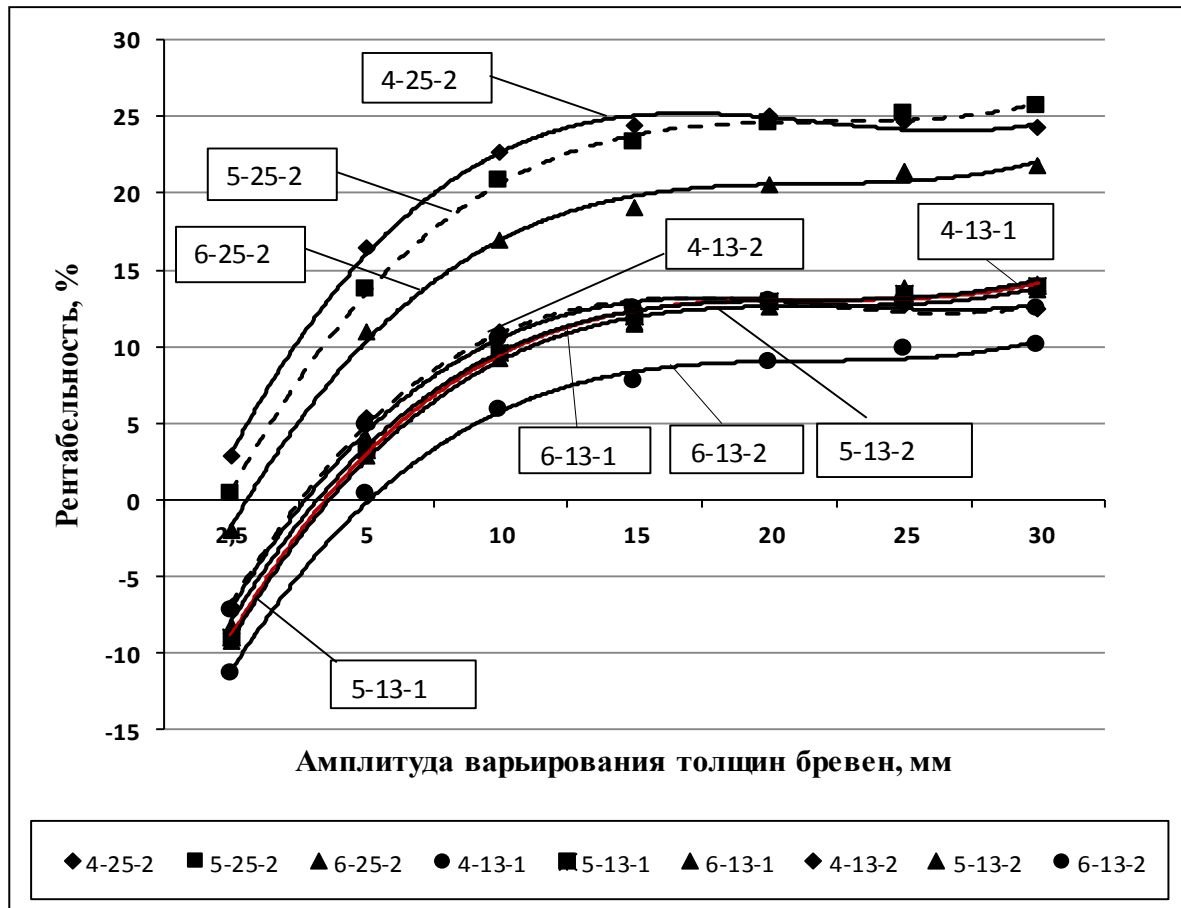


Рисунок 4.19 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен при постоянной и переменной базовой себестоимости и при базовой рентабельности 13% и 25%

На рисунке 4.19 графики обозначены тремя числами: первое обозначает номер поставка, второе – базовую рентабельность, третье – базовую себестоимость (1 – переменная; 2 – постоянная).

4.7 Фактор распределения затрат по стадиям производственного процесса пиломатериалов

Для установления общих закономерностей изменения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства выше производилось дублирование машинных экспериментов с изменением следующих исходных данных.

Для выяснения, как изменится характер исследуемых зависимостей при изменении доли стоимости брёвен в себестоимости пиломатериалов, проводились повторные имитационные исследования при уменьшении доли стоимости брёвен с 80 % до 60 % (этим моделируется ситуация, когда снижаются цены на сырьё или повышаются затраты на производство пиломатериалов).

Для оценки влияния длин брёвен на характер изучаемых зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине исследования повторялись на брёвнах толщиной и длиной 22 см / 4 м при длинах досок от 1,5 до 6,3 м с градацией 0,3 м.

Для уточнения изучаемых зависимостей исследования повторялись на брёвнах толщиной и длиной 22 см / 4 м и 22 см / 5,5 м при длинах досок от 1 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Для определения влияния значений базовой рентабельности и себестоимости пиломатериалов на исследуемые общие их закономерности (без привязки к конкретным параметрам производства) исследования проводились с применением разных базовых рентабельностей (13 % и 25 %) и разных алгоритмов определения базовой себестоимости, зависящей и независимой от применяемых поставов.

При этом неизменным оставалось распределение затрат по стадиям производственного процесса пиломатериалов. В частности, доля затрат на

участке подготовки сырья к раскрою, где осуществляется сортировка брёвен по толщине, принималась равной 0,186 и не изменялась.

Для оценки влияния доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою на зависимость рентабельности производства пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине исследования повторяются при доле затрат: 0,036; 0,136; 0,236; 0,336. Поскольку, как показали проведённые исследования, характер зависимости рентабельности производства от варьирования толщин брёвен практически не зависит от поставов и объёмных выходов, которые они обеспечивают, не зависит от длины бревна, базовой рентабельности и базовой себестоимости, то данные исследования проводятся для одной толщины и длины бревна 22 см/5,5 м, одного (оптимального) постава №4 и одной базовой рентабельности 25 %.

Результаты исследований представлены в таблице 4.12 и на рисунке 4.20.

Таблица 4.12 – Рентабельность производства пиломатериалов при раскросе брёвен 22 см / 5,5 м, постав № 4, при длинах досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м, при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8, при постоянной базовой себестоимости, при базовой рентабельности 25 % и при различных значениях доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою (g_1)

ddmax	Рентабельность, % при доле затрат на участке подготовки сырья к раскрою				
	$g_1=0,036$	$g_1=0,136$	$g_1=0,186$	$g_1=0,236$	$g_1=0,336$
2,5	23,4	8,9	2,8	-2,6	-11,8
5	26,7	19,7	16,5	13,4	7,8
10	26,3	23,9	22,7	21,5	19,2
15	25,6	24,8	24,4	24,0	23,2
20	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
25	23,9	24,4	24,7	24,9	25,5
30	23,1	23,9	24,3	24,8	25,6

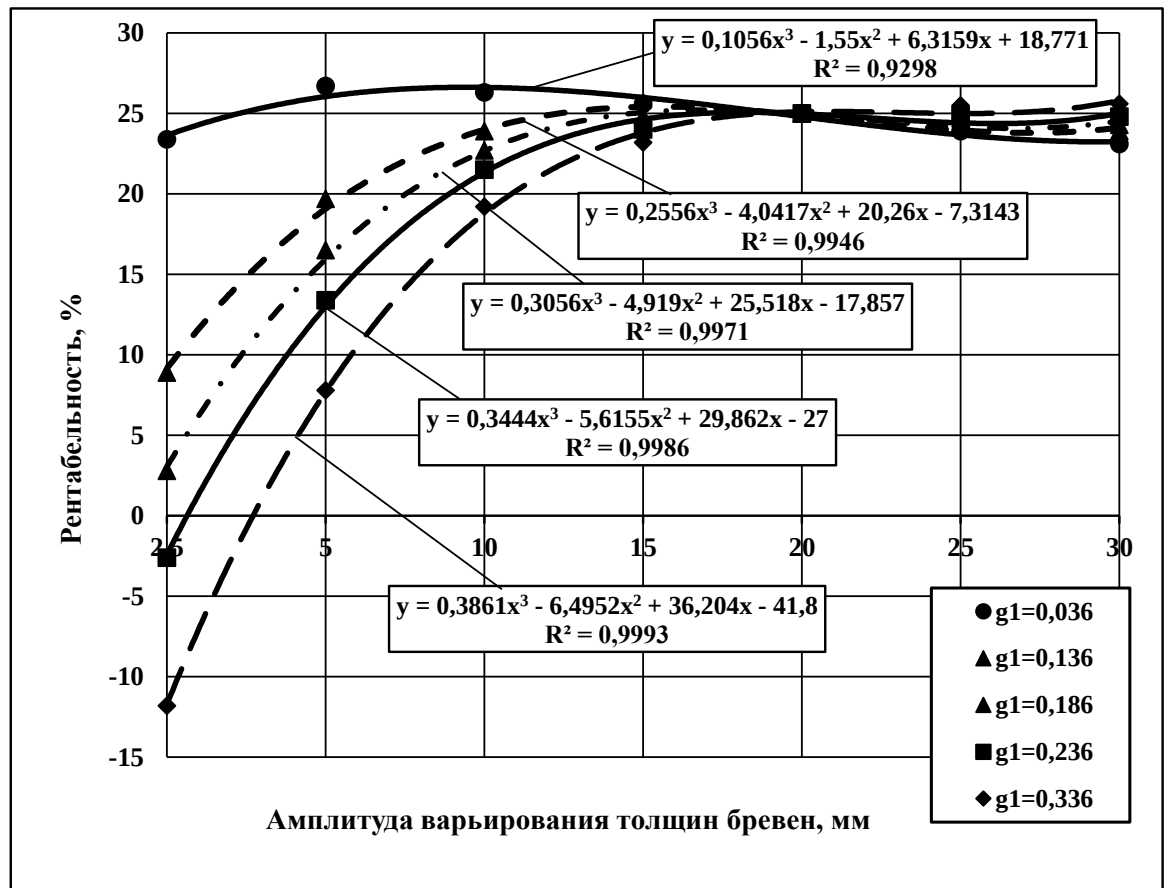


Рисунок 4.20 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен при различных значениях доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою (g_1)

Из рисунка 4.20 видно, что характер зависимостей рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен для всех значений доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою (g_1) кроме одного (№ 1) имеет практически тот же вид, что и для доли затрат 0,186 (№ 3), которая использовалась ранее в данной работе во всех исследованиях. Отличаются они крутизной графиков на участке от 2,5 до 20 мм амплитуды варьирования толщин брёвен. Чем больше доля затрат, тем сильнее растёт рентабельность при снижении дробности сортировки брёвен по толщине. Анализ экстремумов изучаемых функций (таблица 4.12) указывает на то, что все ранее сделанные выводы, которые базировались на доле затрат, равной 0,186, имеют силу и при других весьма отдалённых её значениях (от 0,136 до 0,236). Исключение составляют два крайних значения доли затрат (графики №№ 1 и 5). Крайнее слева значение (график № 1), которое соответствует чисто

теоретическому варианту 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 ± 5 мм (финский вариант). И крайнее справа значение (график № 5) с долей затрат на участке подготовки сырья к раскрою, равной 0,336, то есть почти в 2 раз большей, чем средняя по отрасли. Для этого варианта максимальная рентабельность достигается при сортировке брёвен с точностью ± 30 мм (через три чётных диаметра). Для всех остальных значений доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою оптимальной является дробность ± 20 мм (через два чётных диаметра).

4.8 Выводы

Исследования зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от амплитуды варьирования толщины брёвен без учёта реальной изменчивости формы брёвна и практически неизбежного его смещения относительно центра поставки пил позволяют сделать следующие выводы:

1 Уменьшение дробности сортировки брёвен по толщине до двух чётных диаметров вызывает изменения объёмного выхода и рентабельности производства с различными знаками: объёмного выхода со знаком минус, а рентабельности - со знаком плюс. Отсюда следует принципиально важный вывод – объёмный выход пиломатериалов не может использоваться в качестве критерия эффективности лесопильного производства даже когда стоимость сырья в себестоимости пиломатериалов составляет 80 %.

2 Зависимость рентабельности производства от варьирования толщин брёвен в распиловочных партиях брёвен 16 см / 5,5 м, 22 см / 5,5 м и 26 см / 5,5 м при доле сырьевых затрат 0,8 ($ДСЗ = 0,8$) весьма слабо зависит от поставок и объёмных выходов, которые они обеспечивают. При всех

рассмотренных поставках сортировка брёвен по толщине с точностью выше $\pm 3,7 \dots \pm 3,8$ мм убыточна, рентабельность возрастает наиболее значительно (на $14,8 \dots 19,0$ %) при увеличении величины варьирования толщины брёвен от $\pm 2,5$ до ± 10 мм. При увеличении варьирования толщины брёвен от ± 10 до ± 20 мм рентабельность возрастает на $1,4 \dots 4,4$ %, а при увеличении варьирования толщины брёвен от ± 20 до ± 30 мм рентабельность изменяется от $-0,5$ % до $+1,8$ %.

3 С уменьшением доли стоимости брёвен в себестоимости пиломатериалов с 80 % до 60 % повышение точности сортировки брёвен по толщине до ± 7 мм делает производство пиломатериалов не рентабельным.

При уменьшении дробности сортировки брёвен с ± 5 мм до ± 30 мм рентабельность возрастает на $18,7 \dots 23,2$ %, то есть примерно в 2 раза сильнее, чем при $ДСЗ=0,8$ ($7,6 \dots 12,4$ %). Таким образом, чем дешевле сырьё и чем дороже его обработка, тем с меньшей точностью его следует сортировать.

4 Для брёвен толщиной и длиной 22 см / 4 м зависимость рентабельности лесопильного производства от амплитуды варьирования толщины брёвен в распиловочной партии практически идентична одноимённой зависимости для брёвен 22 см / 5,5 м. Поэтому при решении вопроса дробности сортировки брёвен по толщине можно ограничиваться одной доминирующей или средневзвешенной длиной. В неоднозначных ситуациях следует иметь ввиду, что при увеличении длины брёвен оптимум дробности сортировки по толщине смещается в сторону более грубой сортировки. Зависимость рентабельности производства от варьирования толщины брёвен в распиловочной партии брёвен 22 см/ 4 м при $ДСЗ = 0,8$ в большей мере, чем при длине 5,5 м зависит от поставок и объёмных выходов, которые они обеспечивают. При использовании неоптимальных (по критерию объёмного выхода) поставок максимум рентабельности более явно смещается в сторону трёх и более чётных диаметров.

5 Рентабельность производства пиломатериалов при длине бревна 4 м в среднем на 1 % больше, чем при длине 5,5 м, если используются поставки с достаточно высоким объёмным выходом. Для поставок с невысоким объёмным выходом изменение рентабельности при переходе от длины 5,5 м к длине 4 м в зависимости от амплитуды варьирования толщин брёвен составляет от – 3,1 % до + 1,6 %.

6 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.

7 Уменьшение дробности сортировки брёвен до 2-х чётных диаметров (± 20 мм) при расчётных диаметрах 16 см, 22 см, 26 см и при $ДСЗ=0,8$ экономически оправданно, а уменьшение дробности до 3-х чётных диаметров, может, как увеличивать рентабельность, так и снижать её в пределах от 0,5 до 1,8 %.

8 При $ДСЗ = 0,6$ экономически нецелесообразно сортировать брёвна менее, чем через три чётных диаметра.

9 Можно предположить, что при использовании неоптимальных поставок для распиловки брёвен не идеальной формы и при несовершенном базировании максимум рентабельности будет смещаться в сторону более грубой сортировки брёвен по диаметрам с меньшей дробностью, то есть, к сортировке по трём и более чётным диаметрам.

10 Характер зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен практически не изменяется при весьма существенном варьировании доли затрат 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 ± 5 мм (финский вариант). И вариант с долей затрат на участке подготовки сырья к раскрою, равной 0,336, то есть почти в 2 раз большей, чем средняя по отрасли. Для этого варианта максимальная рентабельность достигается при сортировке брёвен с точностью ± 30 мм (через три чётных диаметра).

11 При расчётном диаметре брёвен до 22 см и длине 5,5 м их сортировка по толщине теоретически может повысить объёмный выход пиломатериалов до 3,2 %.

12 За счёт реальной в настоящее время сортировки брёвен по одному чётному диаметру можно повысить объёмный выход пиломатериалов до 2 %.

13 При номинальной толщине брёвен 26 см их сортировка по толщине теоретически может повысить объёмный выход пиломатериалов до 1,7 %, а сортировка по одному чётному диаметру – до 1,2 %.

14 При толщинах брёвен 16...22 см степень влияния дробности сортировки брёвен по толщине на объёмный выход пиломатериалов в 1,5...2 раза выше, чем при толщине 26 см.

15 Чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по диаметрам при толщине 22 см и при уменьшении длины с 5,5 м до 4 м в среднем возрастает примерно на 30 %. Переход от сортировки брёвен по трём чётным диаметрам (± 30 мм) к сортировки по двум чётным диаметрам (± 20 мм) и переход от сортировки от двух чётных диаметров (± 20 мм) к сортировки по одному чётному диаметру (± 10 мм) теоретически может повышать объёмный выход в зависимости от качества поставка – на 0,36...1,55 % (22 см/5,5 м на 0,21...1,09 %).

16 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от длины брёвен при учёте варьирования их толщины внутри распиловочной партии не так однозначна, как принято считать в теории лесопиления, которая оперирует с неизменными номинальными толщинами брёвен. При фиксированном номинальном диаметре бревна объёмный выход пиломатериалов возрастает с уменьшением длины бревна. Эта закономерность подтверждается, если

поставы имеют высокие теоретические объёмные выходы и амплитуда варьирования толщин брёвен не велика.

17 Для уточнения выявленных закономерностей и выводов об эффективной дробности сортировки брёвен по толщине необходимо учитывать реальную изменчивость формы и размеров брёвен, а также их практически неизбежное случайное смещение относительно центра постава пил. Исследованию влияния этих факторов на общие закономерности формирования объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства посвящены дальнейшие разделы диссертации.

18 Проведённые исследования влияния различных факторов на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства являются также тестированием имитационной модели лесопильного производства. Получение базовой (эталонной) рентабельности (рисунок 4.19) при входных базовых (эталонных) переменных указывает, в соответствии с существующей методологией оценки достоверности имитационной модели [77, 140], на её адекватность. Многократный прогон модели с получением стабильных и абсолютно совпадающих результатов «без необъяснимых всплесков или зон нечувствительности» эквивалентен верификации имитационной модели и валидации данных с оценкой её устойчивости и чувствительности. Таким образом, проведённые исследования доказывают, что применяемая имитационная модель обладает достаточно высокой степенью изоморфизма.

5 Влияние вероятностных характеристик формы бревна и его ориентации относительно постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельности их производства

5.1 Общие методические положения

Для установления общих закономерностей изменения эффективности лесопильных предприятий в зависимости от основных технологических управляемых параметров – дробности сортировки брёвен по толщине; количества одновременно вырабатываемых поставом толщин досок; градации длин досок необходимо учитывать реальную (случайную) изменчивость размеров и формы распиливаемых брёвен, а также случайное их смещение относительно центра постава пил. Поэтому в данном разделе исследуется влияние вероятностных характеристик формы бревна и его ориентации относительно постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства. Характеристики пиловочного сырья и его ориентации, принимающие различные и непредсказуемые заранее значения, считаются нами случайными. Это позволяет воспользоваться методом имитационного моделирования с многократным воспроизведением на компьютере совокупности различных значений исходных данных. Считается, что эллиптичность, кривизна и смещённость относительно центра постава пил подчиняются нормальному закону, а толщина бревна – равновероятному закону распределения. В машинном эксперименте каждым поставом «распиливается 1000 брёвен».

Исследования проводятся на брёвнах 22 см / 5,5 м с использованием постава № 4: 25 - 150 – 25; 25 – 50/3 – 25, обеспечивающего теоретический максимальный объёмный выход 60,21 %; поставка № 5: 25/2 – 100 – 25/2; 25 – 50/3 – 25 с теоретическим максимальным объёмным выходом 58,51 %;

поставка № 6: 25/2 – 100 – 25/2; 25/3 – 50 – 25/3 с теоретическим максимальным объёмным выходом 57,04 %, при длине досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м, при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8, при постоянной базовой себестоимости и при базовой рентабельности 25 %.

5.2 Влияние эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства

Результаты исследования влияния эллиптичности бревна на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства представлены в таблицах 5.1...5.14 и на рисунках 5.1...5.14 [88].

На рисунках 5.1...5.14 по оси абсцисс откладываются средние арифметические значения эллиптичности брёвен. Средние квадратические отклонения эллиптичности равняются 1/3 от средних арифметических значений. Таким образом, точка «2» на оси абсцисс соответствует варьированию эллиптичности по нормальному закону от нуля до 4 мм, а точка «4» - от нуля до 8 мм и т.д. Под эллиптичностью понимается разность между максимальным и средним диаметром или полуразность между максимальным и минимальным диаметром вершинного торца бревна

Таблица 5.1 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде (ddmax) варьирования толщины бревна 2,5 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax = 2,5 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	2,8	0,4	-2	60,14	58,68	57,30
2	2,4	-0,1	-2,5	59,91	58,41	57,01
4	2	-0,6	-3	59,62	58,12	56,72
6	1,4	-1,1	-3,8	59,32	57,82	56,29
8	0,8	-1,7	-4,8	58,97	57,46	55,71
10	0	-2,5	-6	58,48	56,99	55,01

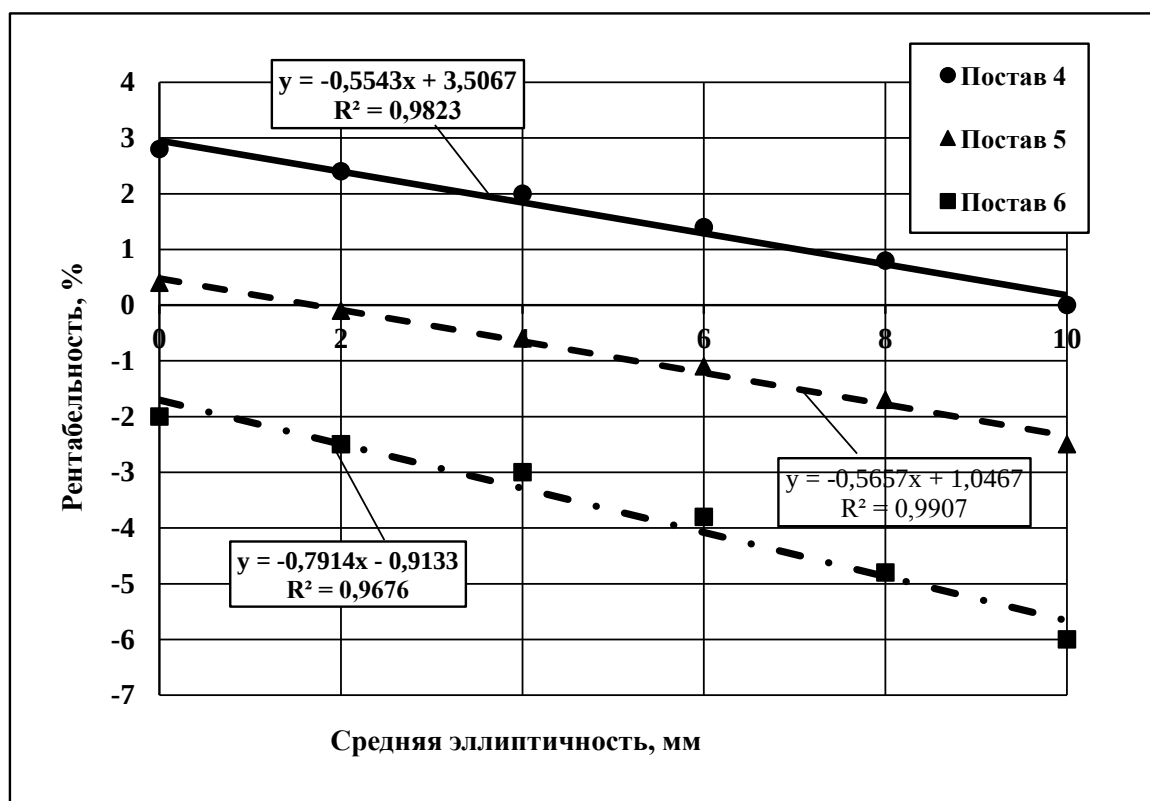


Рисунок 5.1 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

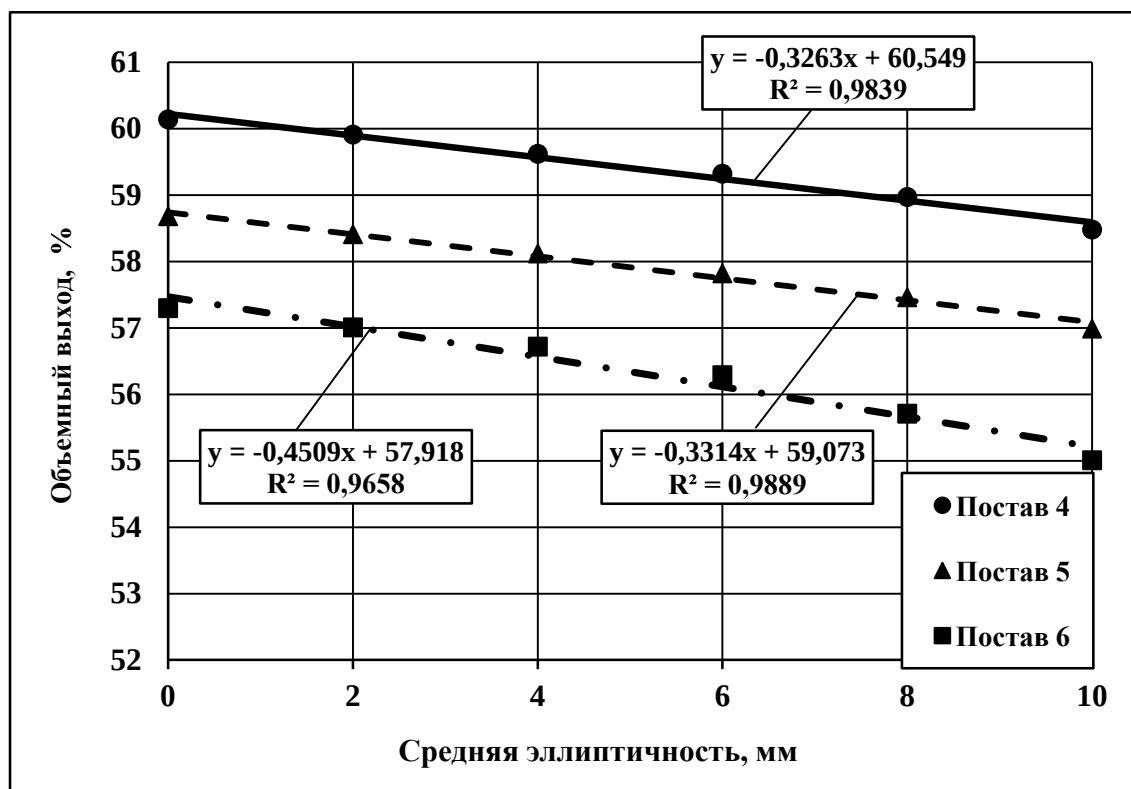


Рисунок 5.2 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

Таблица 5.2 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax = 5 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	16,5	13,7	10,9	60,03	58,64	57,24
2	15,8	13,1	10,3	59,74	58,31	56,89
4	15,2	12,4	9,4	59,39	57,95	56,43
6	14,4	11,6	8,2	59,00	57,54	55,85
8	13,5	10,7	7	58,52	57,09	55,22
10	12,6	9,6	5,7	58,07	56,53	54,55

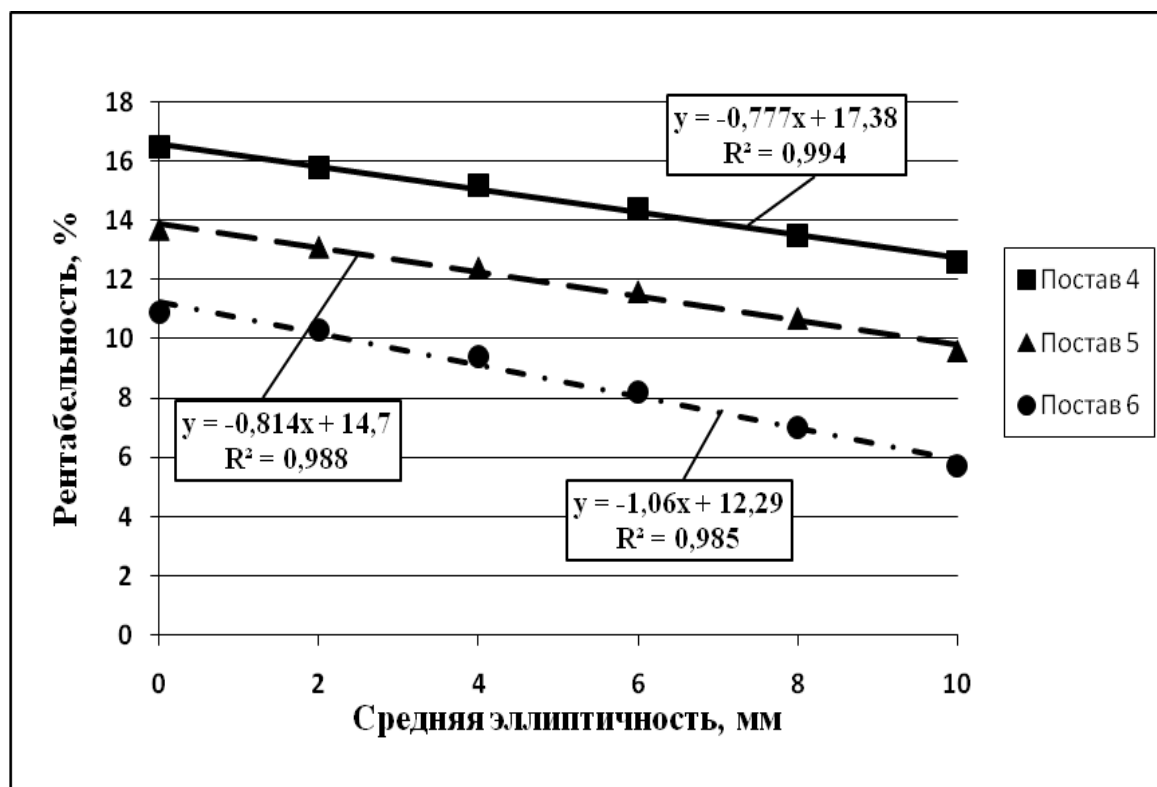


Рисунок 5.3 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

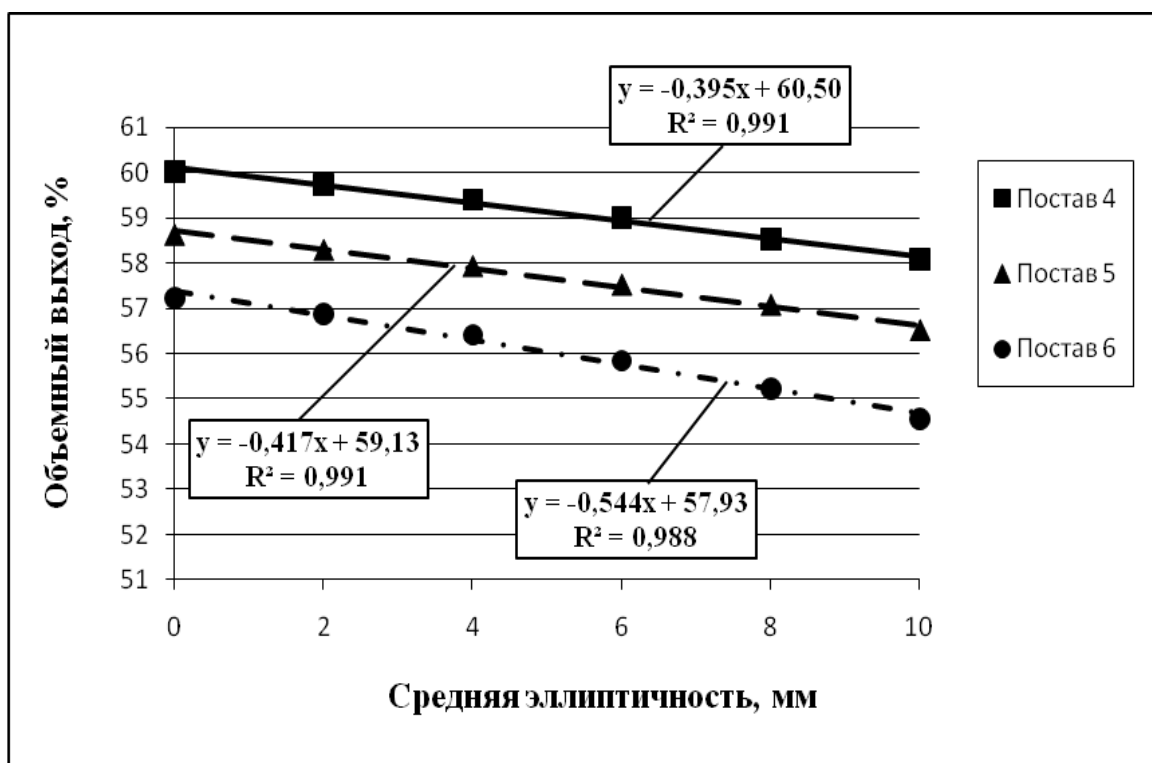


Рисунок 5.4 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

Таблица 5.3 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax = 10 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	22,7	20,8	17	58,94	58,09	56,37
2	22,1	20,1	16,3	58,67	57,76	56,03
4	21,3	19,4	15,5	58,35	57,40	55,64
6	20,5	18,5	14,7	57,99	56,96	55,22
8	19,7	17,4	13,6	57,57	56,45	54,69
10	18,7	16,1	12,4	57,09	55,84	54,14

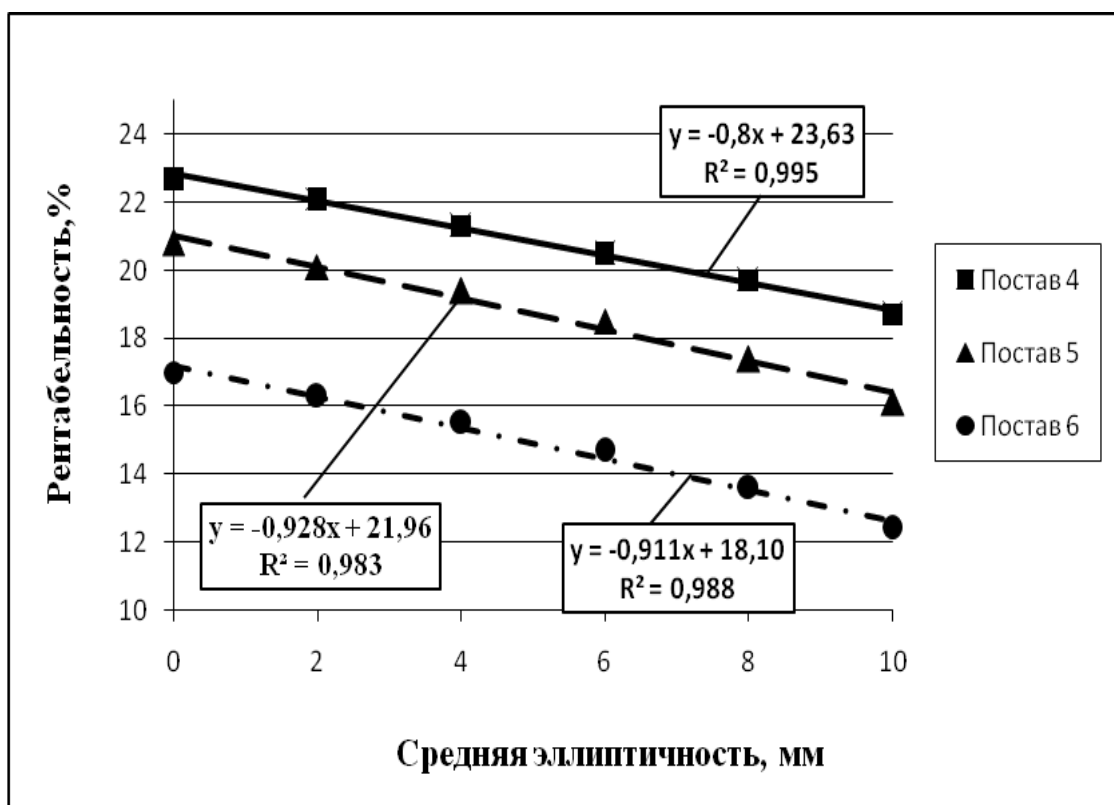


Рисунок 5.5 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 10 мм

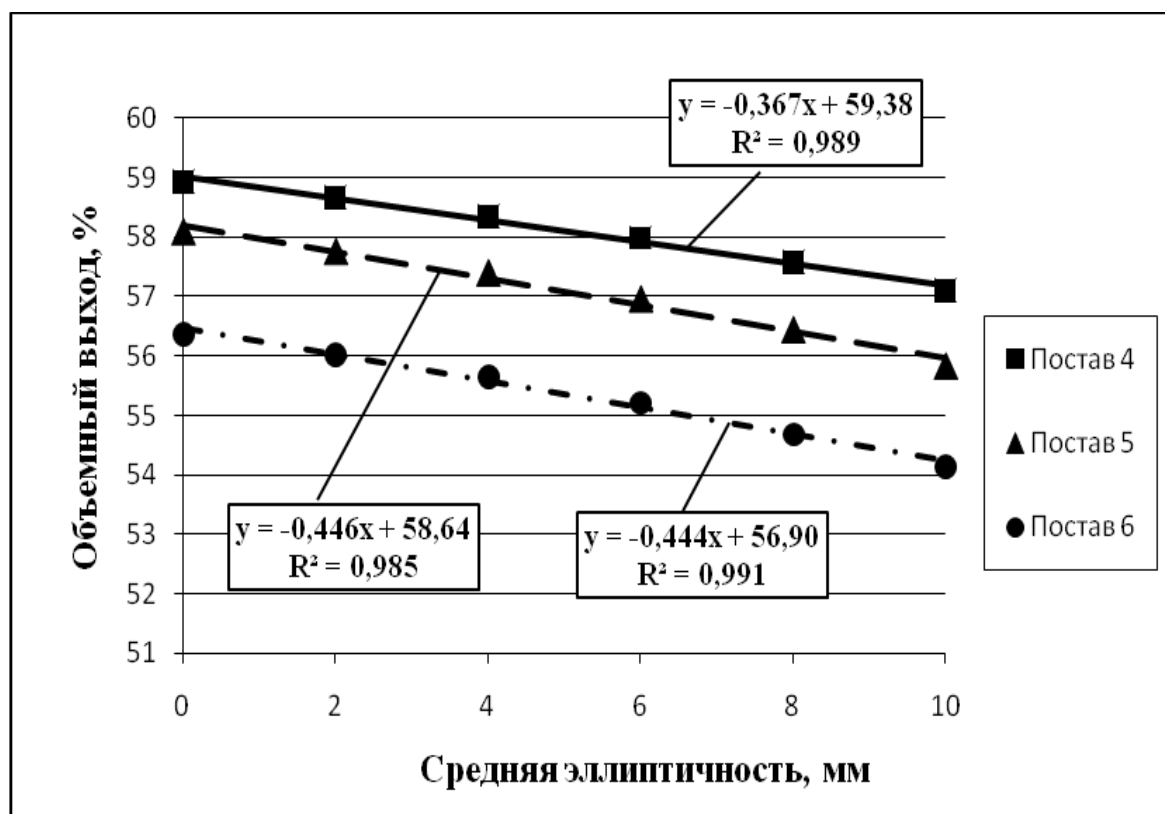


Рисунок 5.6 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 10 мм

Таблица 5.4 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax=15 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,4	23,3	19,1	58,45	57,86	56,00
2	24,2	22,5	18,4	58,15	57,45	55,67
4	23,5	21,6	17,5	57,83	57,03	55,25
6	22,4	20,6	16,7	57,47	56,56	54,84
8	21,6	19,5	15,7	57,05	56,05	54,41
10	20,6	18,5	14,7	56,61	55,60	53,94

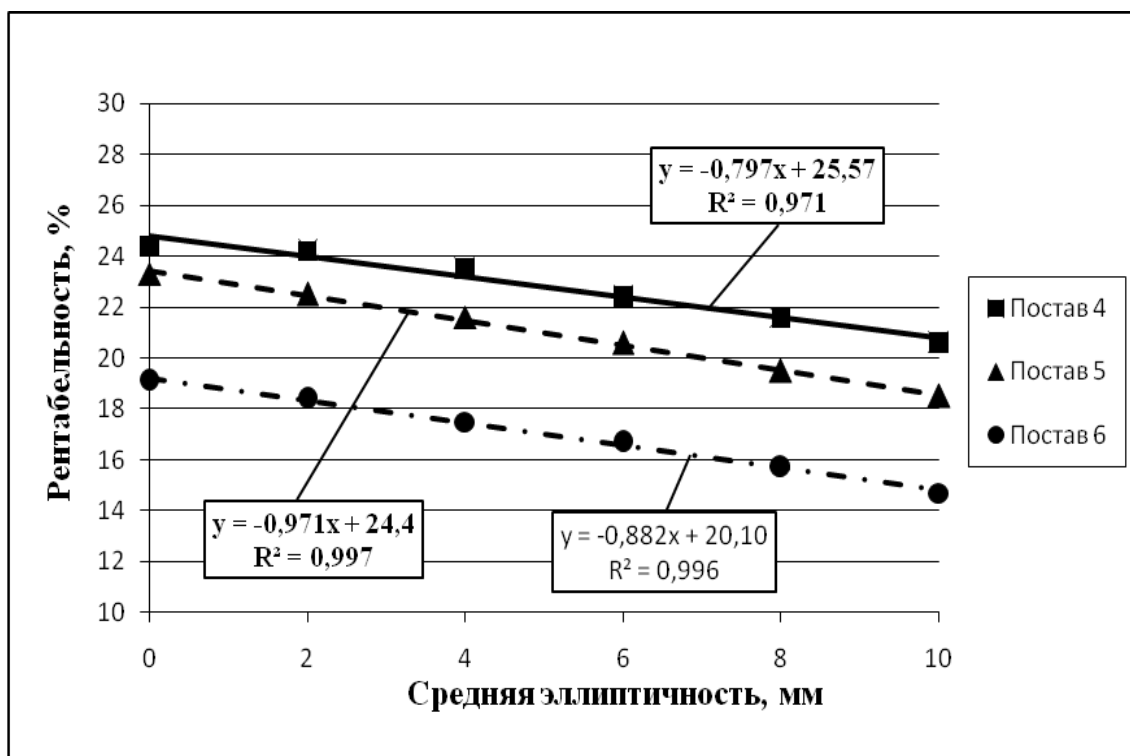


Рисунок 5.7 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 15 мм

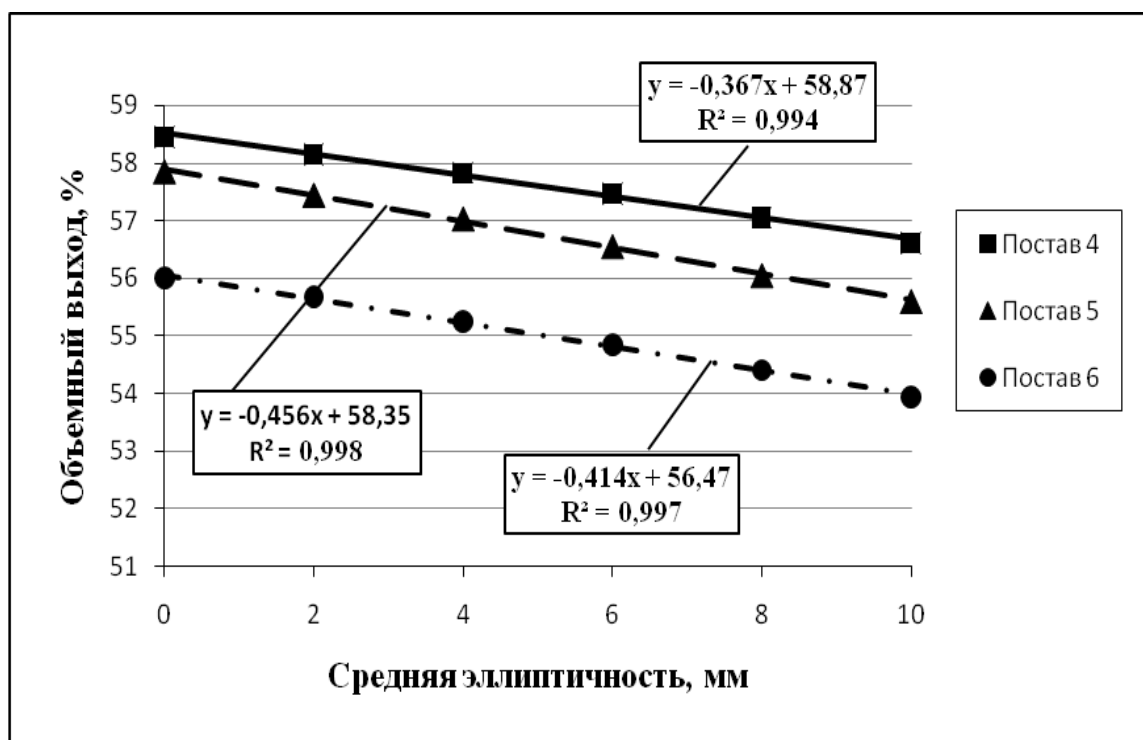


Рисунок 5.8 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 15 мм

Таблица 5.5 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax=20 мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	25	25	25	58,00	57,67	55,98
2	24,4	23,8	19,8	57,72	57,29	55,62
4	24,4	23,5	19	57,46	56,94	55,24
6	23,6	22,5	18,1	57,07	56,51	54,85
8	22,6	21,2	17,3	56,64	56,09	54,43
10	21,3	20,1	16,4	56,18	55,60	54,03

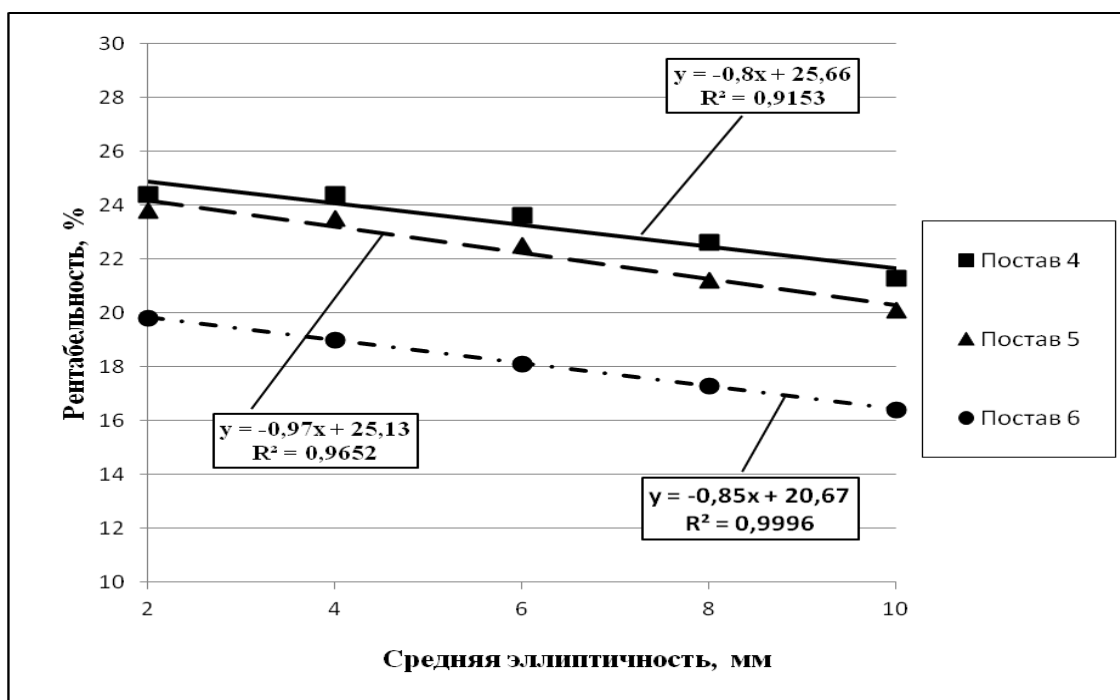


Рисунок 5.9 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

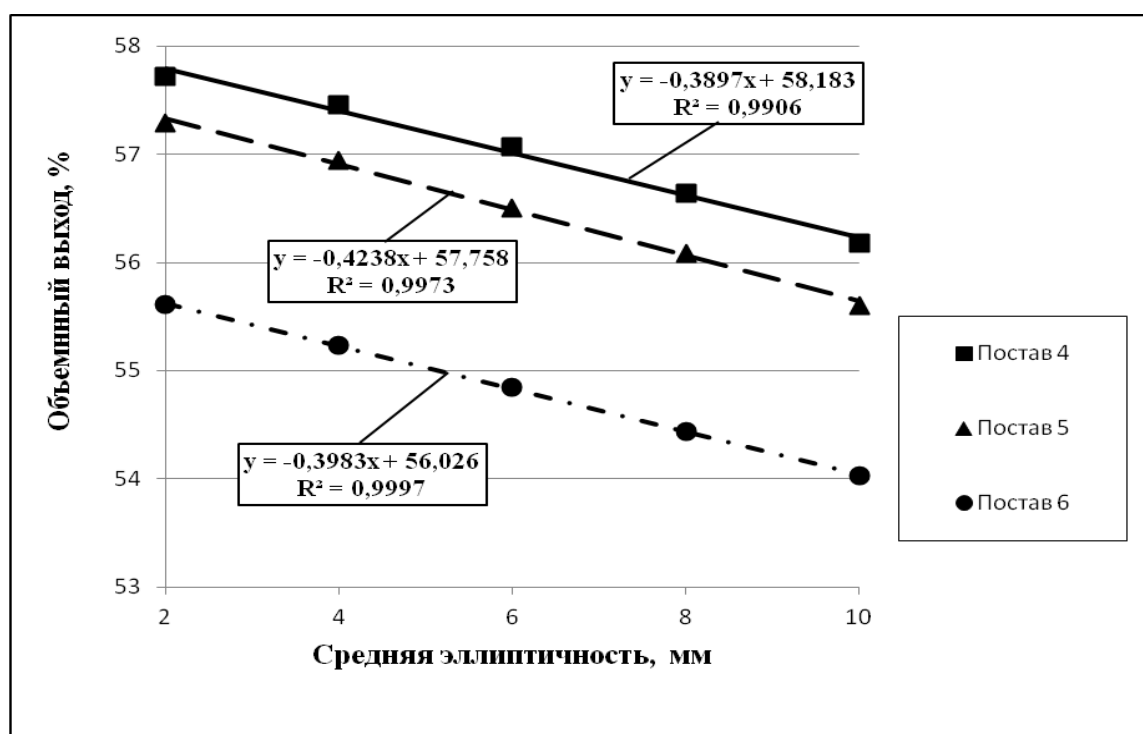


Рисунок 5.10 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

Таблица 5.6 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

Эллиптич- ность, мм при ddmax=25 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,7	25,2	21,4	57,39	57,44	55,93
2	24	24,5	20,6	57,06	57,12	55,54
4	24,3	23,6	19,8	56,87	56,74	55,17
6	23,5	22,9	19,1	56,50	56,40	54,84
8	22,7	22	18,3	56,16	56,00	54,47
10	21,8	21,3	17,5	55,76	55,66	54,10

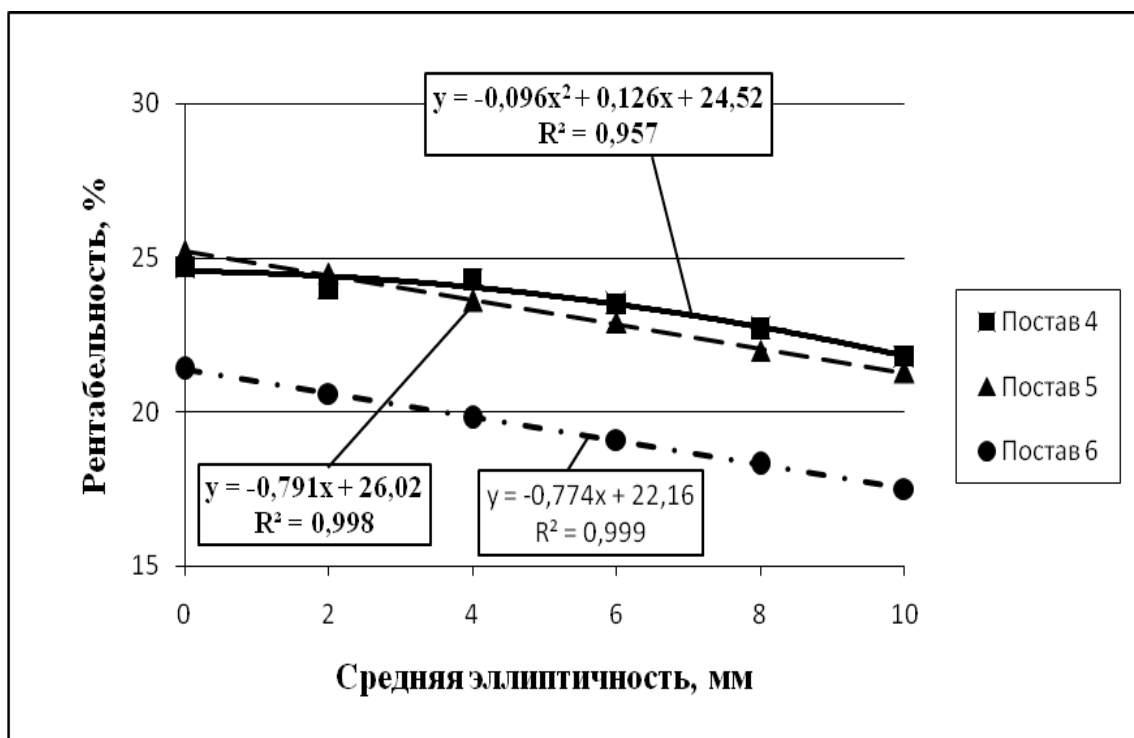


Рисунок 5.11 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 25 мм

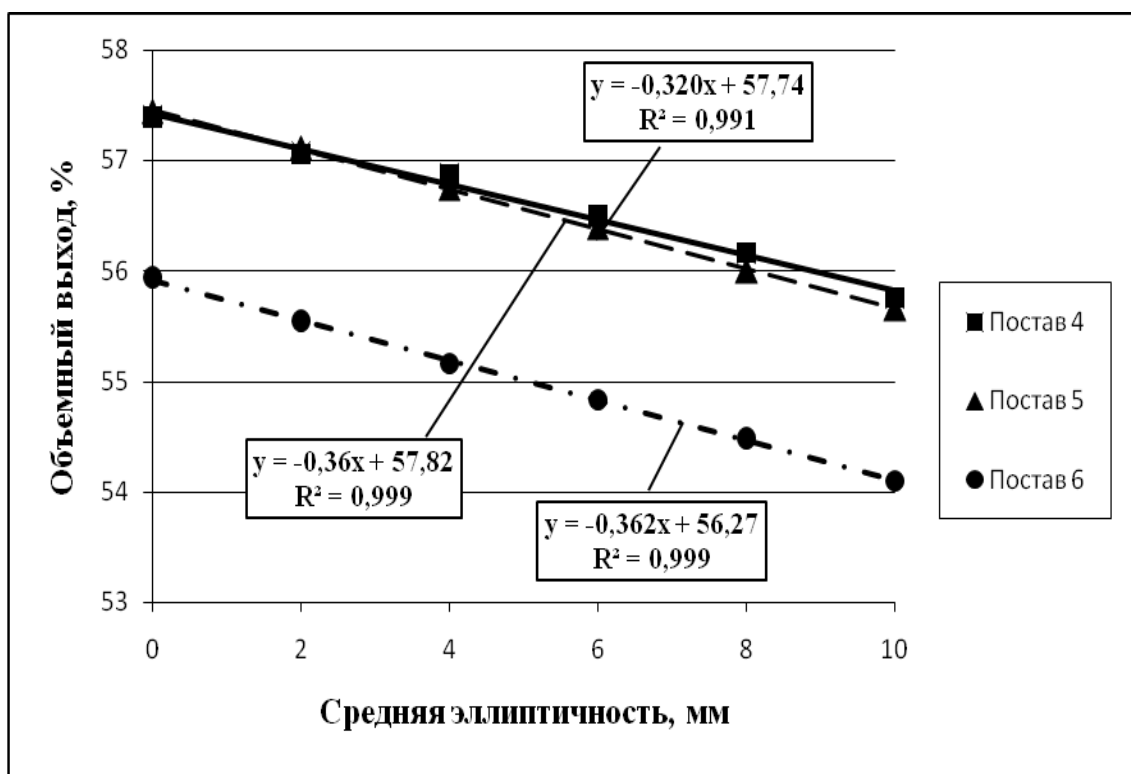


Рисунок 5.12 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 25 мм

Таблица 5.7 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

Эллиптичность, мм при $dd_{max}=30$ мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,3	25,7	21,8	56,89	57,33	55,77
2	23,7	25,0	21,1	56,59	57,02	55,47
4	23	24,2	20,5	56,28	56,66	55,16
6	23,5	23,6	19,7	56,12	56,26	54,83
8	22,7	22,9	19	55,74	56,04	54,50
10	21,9	22,2	18,2	55,37	55,72	54,14

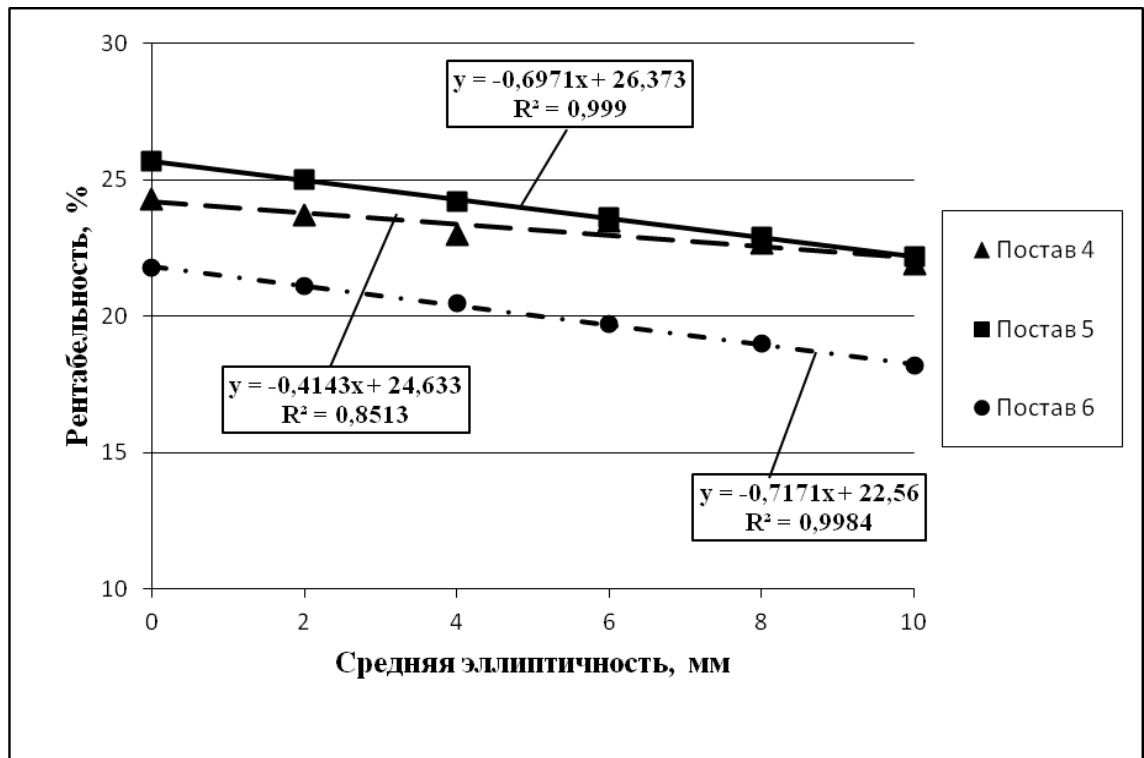


Рисунок 5.13 – Зависимость рентабельности от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

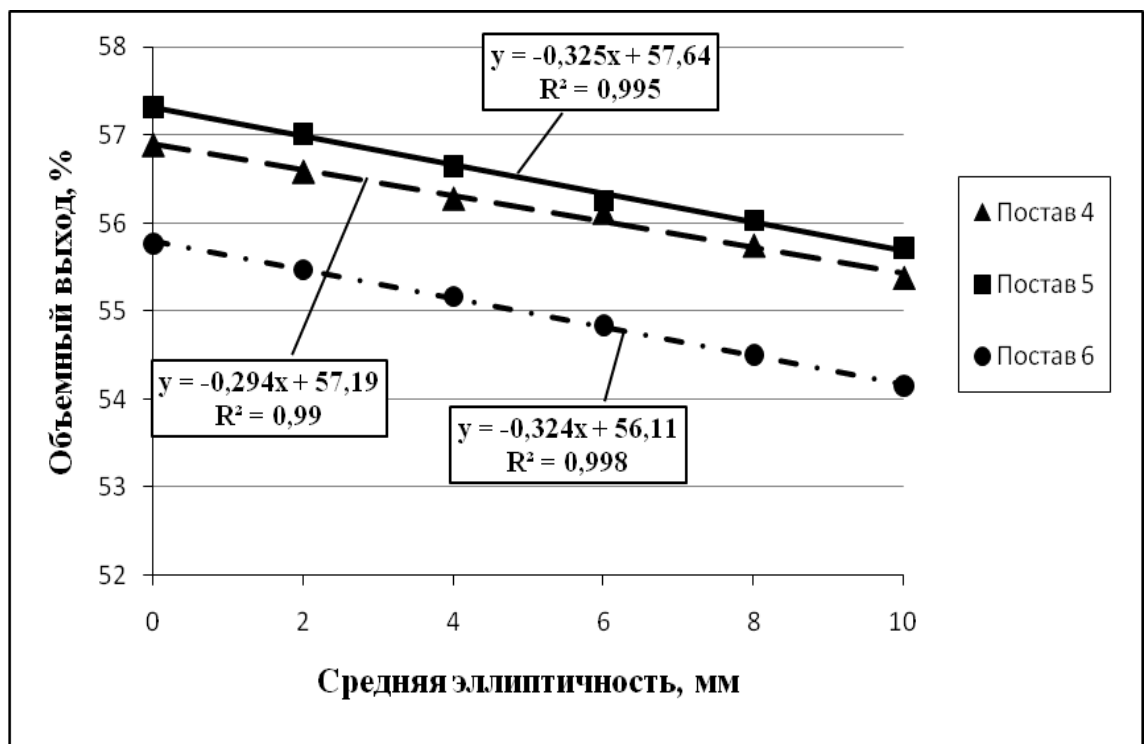


Рисунок 5.14 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности бревна при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

Из рисунков 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, 5.14 видно, что объёмный выход досок из брёвен 22 см / 5,5 м снижается при увеличении эллиптичности по линейному закону (с достаточно высокими коэффициентами детерминации: от 0,965 до 0,999). Величина снижения объёмного выхода зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен и от постава пил. При изменении среднего значения эллиптичности от 0 до 10 мм с размахом варьирования от 0 до 20 мм объёмный выход снижается на 1,5...2,3 %. При изменении средней эллиптичности от 0 до 6 мм, наиболее характерной для брёвен толщиной 22 см, объёмный выход снижается на 0,8...1,2 %. Такое снижение следует признать существенным.

Из рисунков 5.1, 5.3, 5.5, 5.7, 5.9, 5.11, 5.13 видно, что рентабельность производства снижается при увеличении эллиптичности по линейному закону (с коэффициентами детерминации от 0,915 до 0,999). Величина снижения рентабельности примерно в равной степени зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен и от постава пил. При изменении среднего значения эллиптичности от 0 до 10 мм с размахом варьирования от 0 до 20 мм рентабельность снижается на 2,4...4,7 %. При изменении средней эллиптичности от 0 до 6 мм рентабельность снижается на 0,8...2,3 %. Такое снижение рентабельности следует признать весьма существенным и поэтому фактор эллиптичности брёвен необходимо учитывать при прогнозировании технико-экономических показателей лесопильного предприятия.

Сравнивая закономерности снижения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства, обусловленные эллиптичностью брёвен, видим, что они весьма схожи. Объясняется это тем, что эллиптичность снижает рентабельность только через снижение объёмного выхода пиломатериалов.

5.3 Влияние кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства

Результаты исследования влияния кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства представлены в таблицах 5.8...5.14 и на рисунках 5.15...5.28 [90].

На рисунках 5.15...5.28 по оси абсцисс откладываются средние арифметические значения кривизны брёвен. Средние квадратические отклонения кривизны равняются $1/3$ от средних арифметических значений. Таким образом, точка «0,10» на оси абсцисс соответствует варьированию по нормальному закону кривизны от нуля до 0,20 % , точка «0,20» – от нуля до 0,40 % и т.д. Под кривизной понимается простая кривизна (один прогиб), которая определяется как процентное отношение стрелы прогиба к длине бревна.

Таблица 5.8 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 2,5 мм

Кривизна, % при $dd_{max} = 2,5$ мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0,00	2,8	0,4	-2	60,138	58,68	57,299
0,05	2,1	-0,4	-2,8	59,7	58,25	56,86
0,10	1,4	-1,1	-4,3	59,27	57,82	55,97
0,15	0,3	-2,2	-5	58,63	57,204	55,579
0,20	-0,7	-2,9	-5,1	58,08	56,76	55,48
0,25	-2,1	-3,4	-5,2	57,234	56,46	55,45

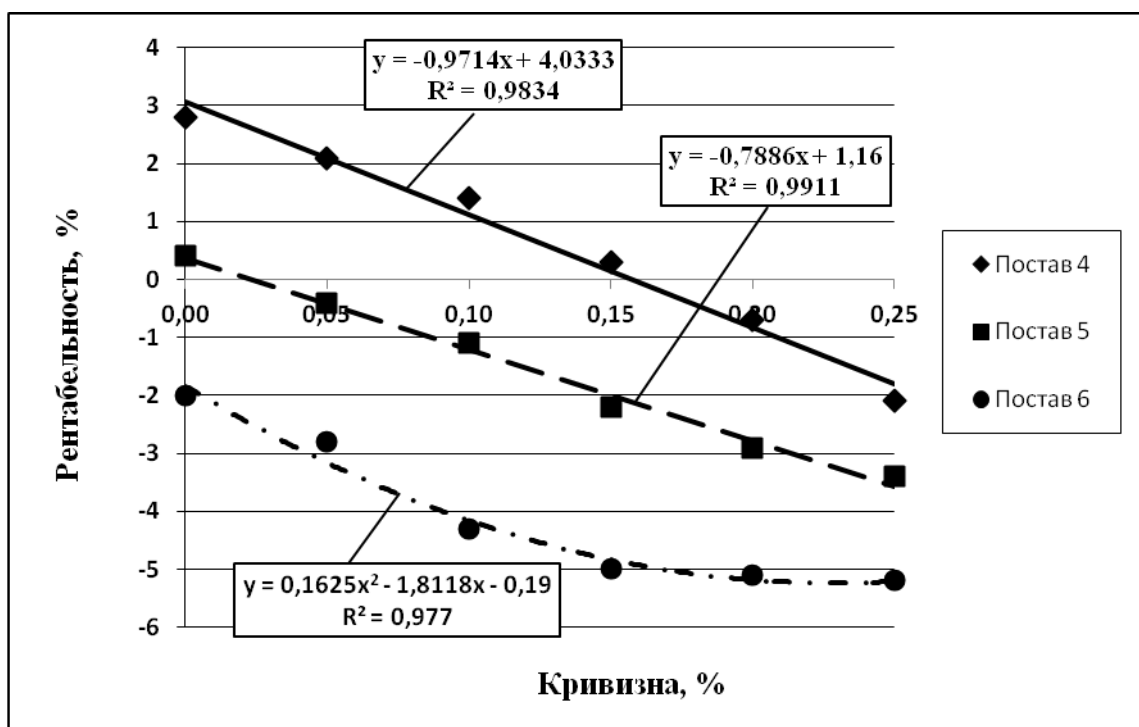


Рисунок 5.15 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

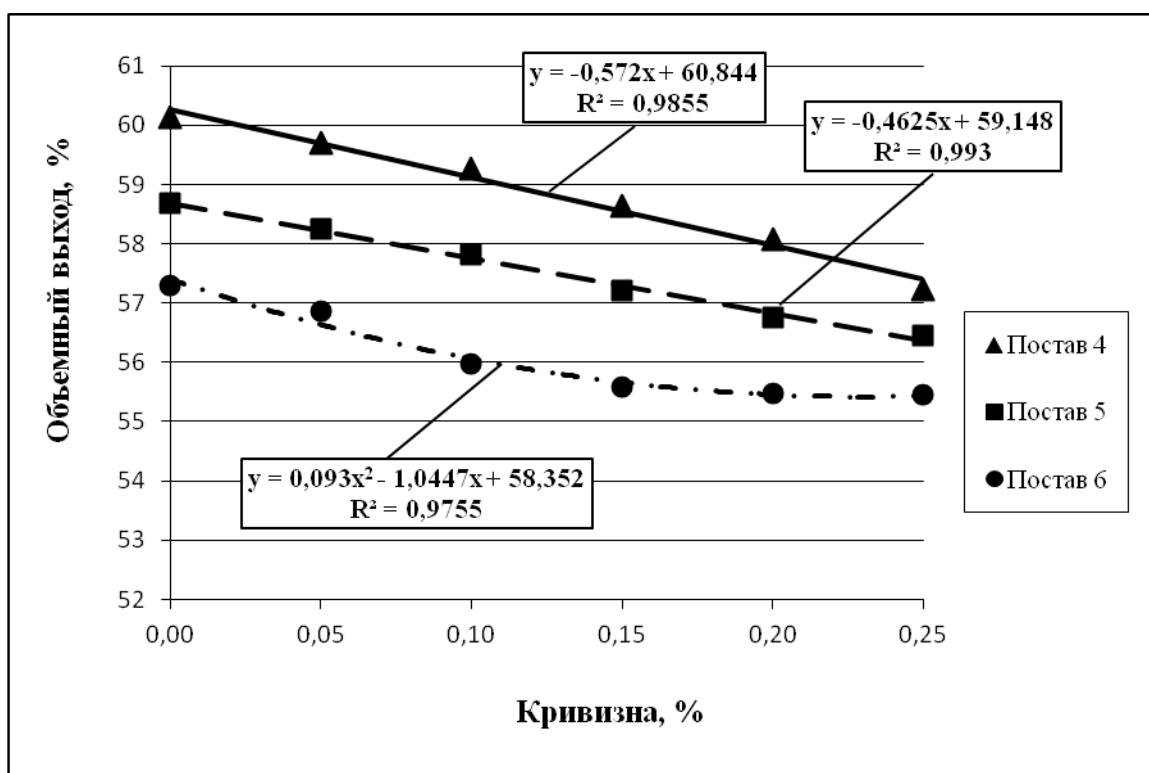


Рисунок 5.16 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

Таблица 5.9 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

Кривизна, % при ddmax = 5 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	16,5	13,7	10,9	60,03	58,64	57,24
0,05	15,6	12,8	9,6	59,56	58,19	56,55
0,1	14,8	12,1	8,5	59,15	57,79	55,98
0,15	13,5	10,8	7,8	58,47	57,11	55,63
0,2	12,5	10,1	7,4	57,95	56,75	55,44
0,25	10,7	9,5	7,4	57,05	56,48	55,41

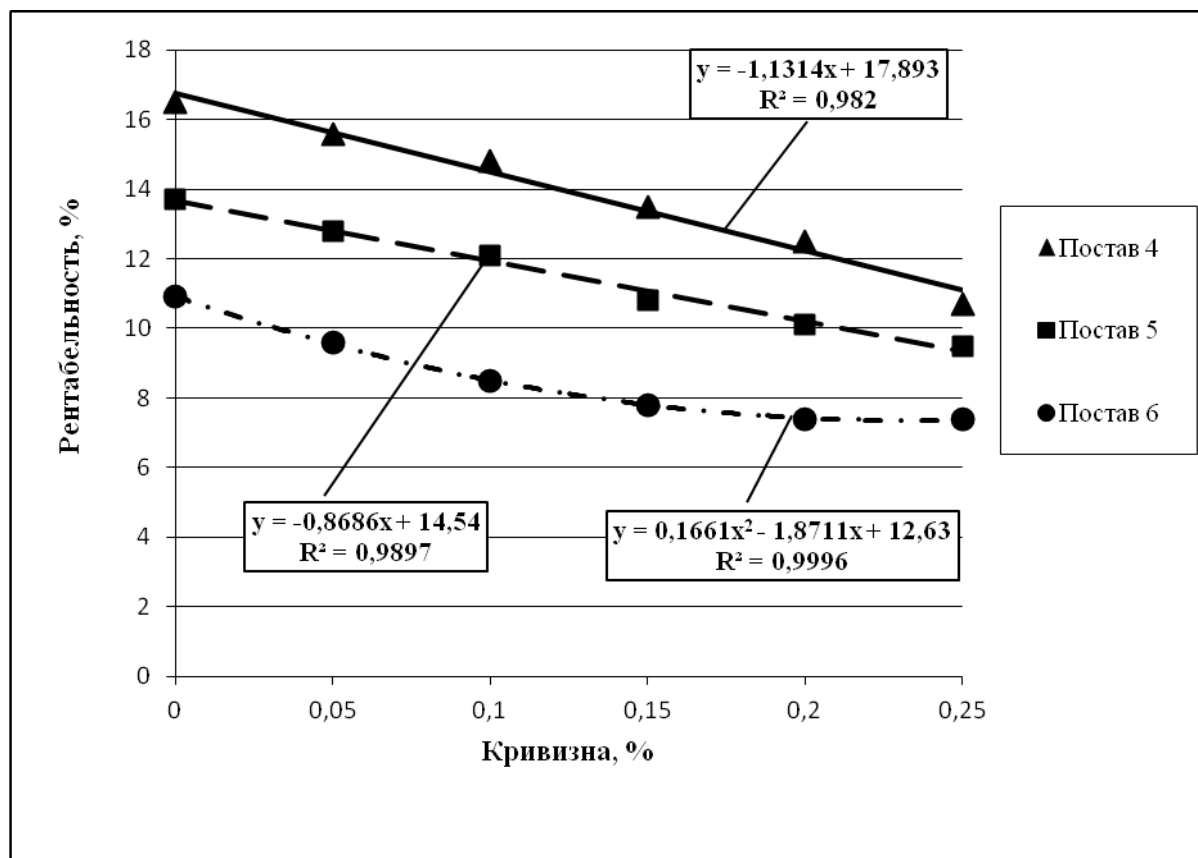


Рисунок 5.17 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

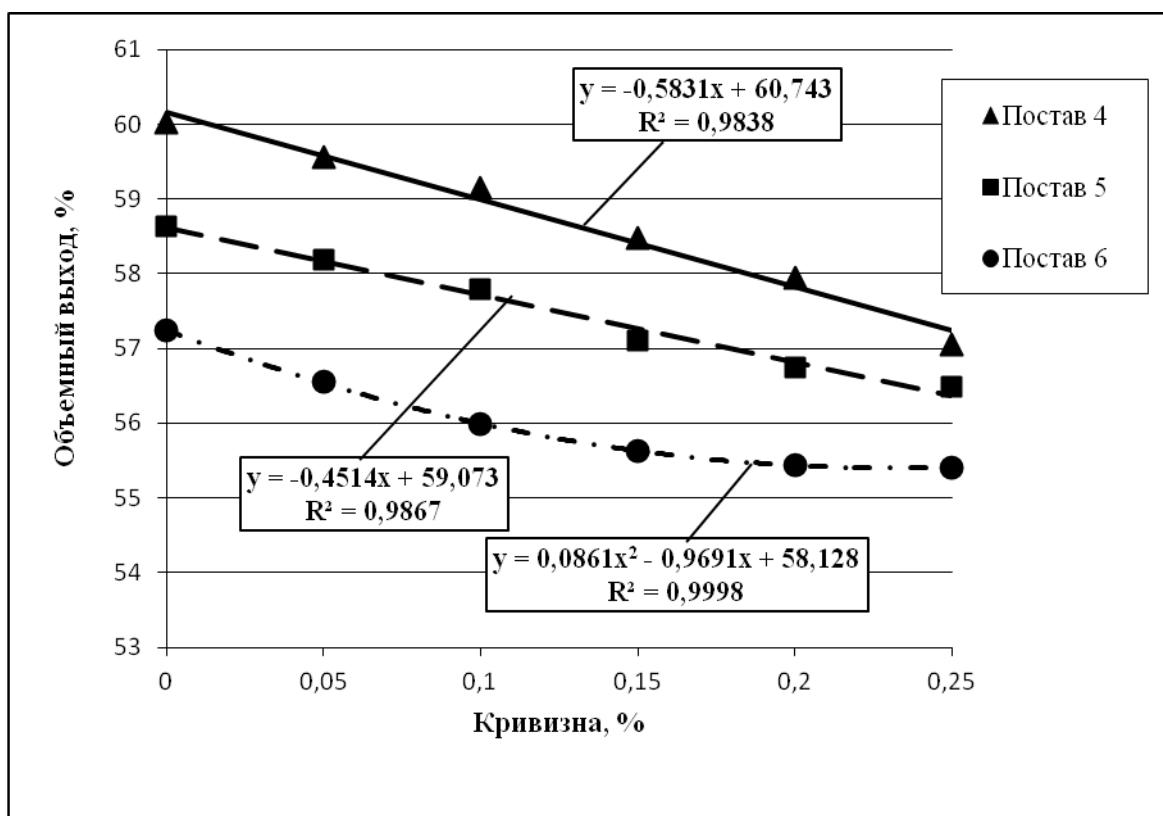


Рисунок 5.18 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

Таблица 5.10 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

Кривизна, % при ddmax = 10 мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	22,7	20,8	17	58,94	58,09	56,37
0,05	21,8	19,9	15,8	58,49	57,65	55,75
0,1	20,5	18,7	14,9	57,9	57,09	55,35
0,15	19,4	17,6	14,4	57,37	56,56	55,09
0,2	18,4	17,0	13,9	56,89	56,26	54,86
0,25	17,2	16,5	13,5	56,32	56,05	54,68

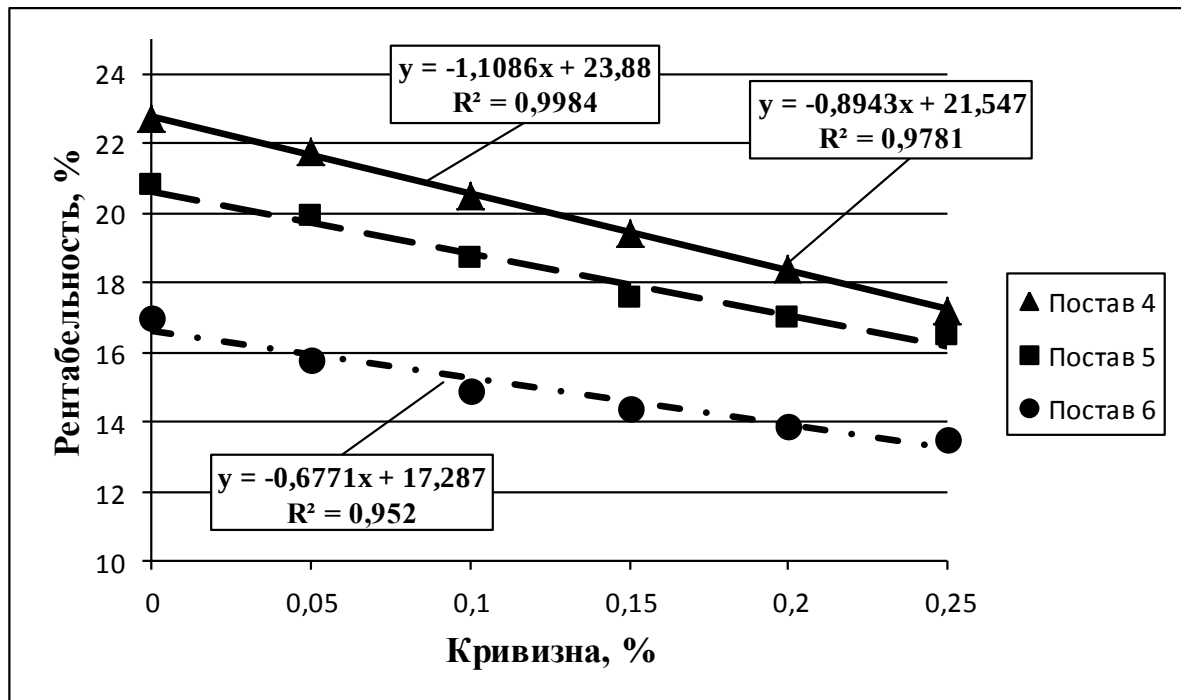


Рисунок 5.19 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 10 мм

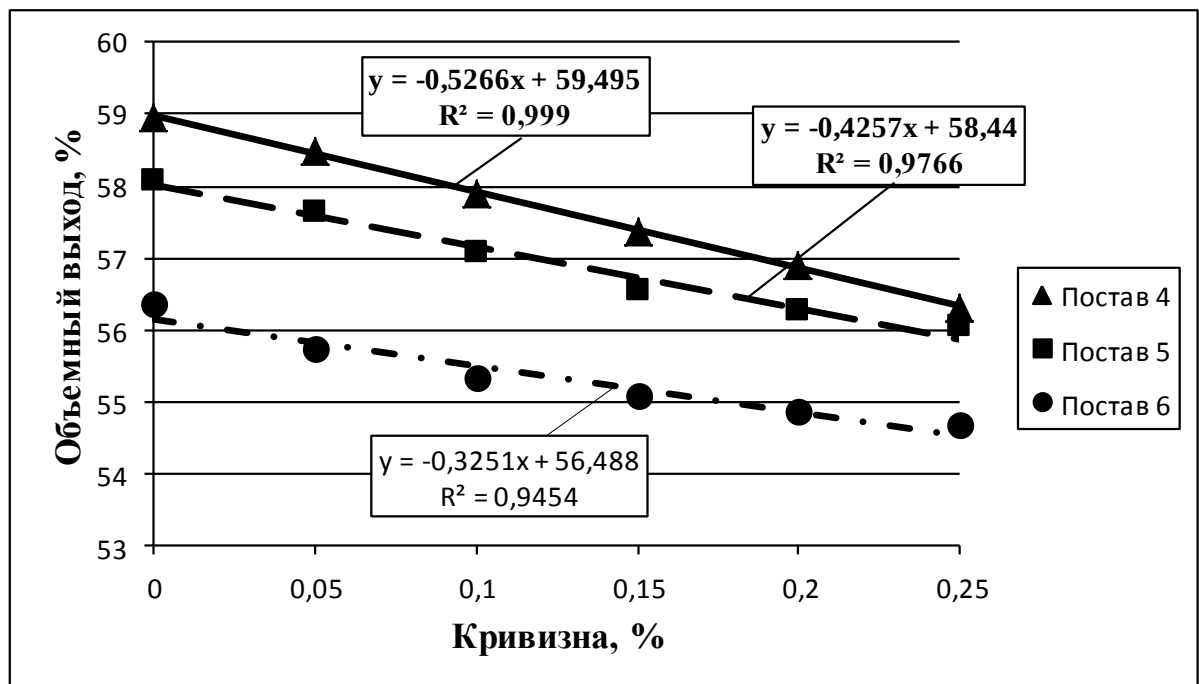


Рисунок 5.20 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 10 мм

Таблица 5.11 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

Кривизна, % при ddmax=15 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,4	23,3	19,1	58,45	57,86	56
0,05	23,3	22,2	18,1	57,92	57,34	55,51
0,1	22,1	21,1	17,3	57,36	56,797	55,16
0,15	21,2	20,2	16,8	56,944	56,39	54,92
0,2	20,2	19,6	16,4	56,49	56,11	54,73
0,25	19,3	19,2	16	56,04	55,897	54,54

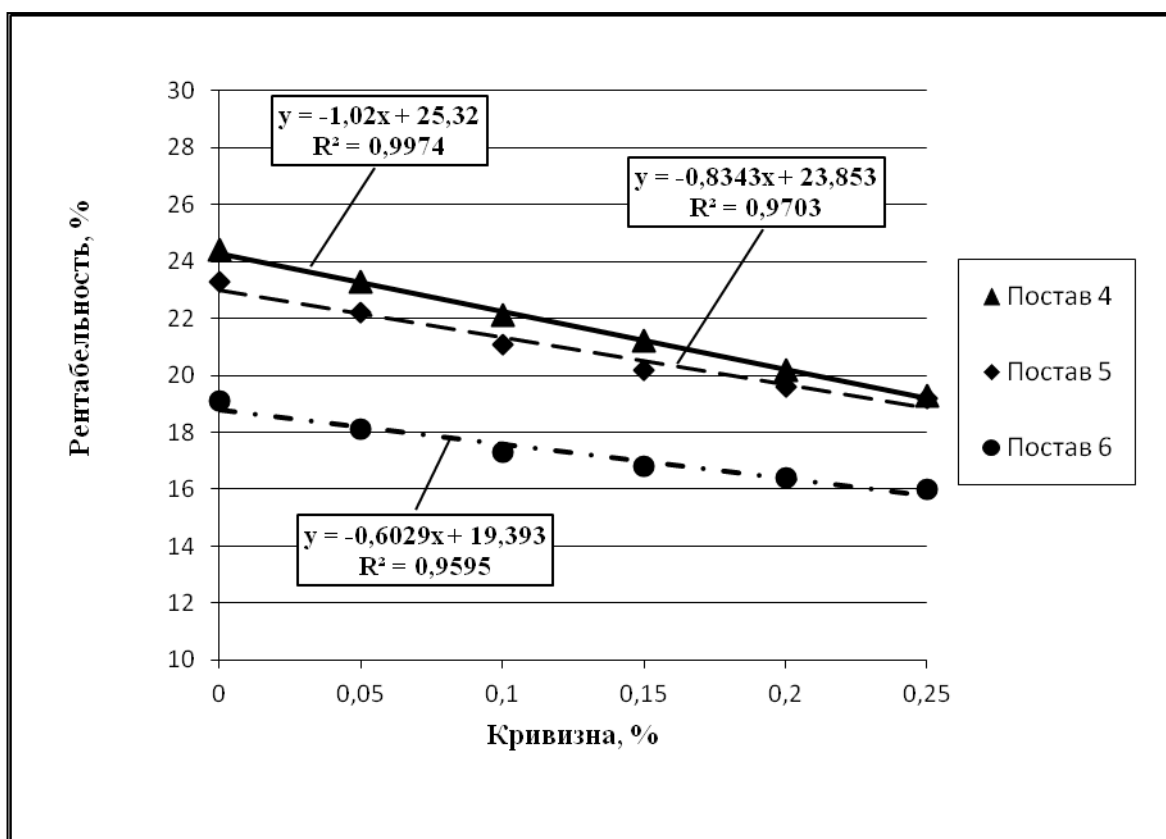


Рисунок 5.21 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 15 мм

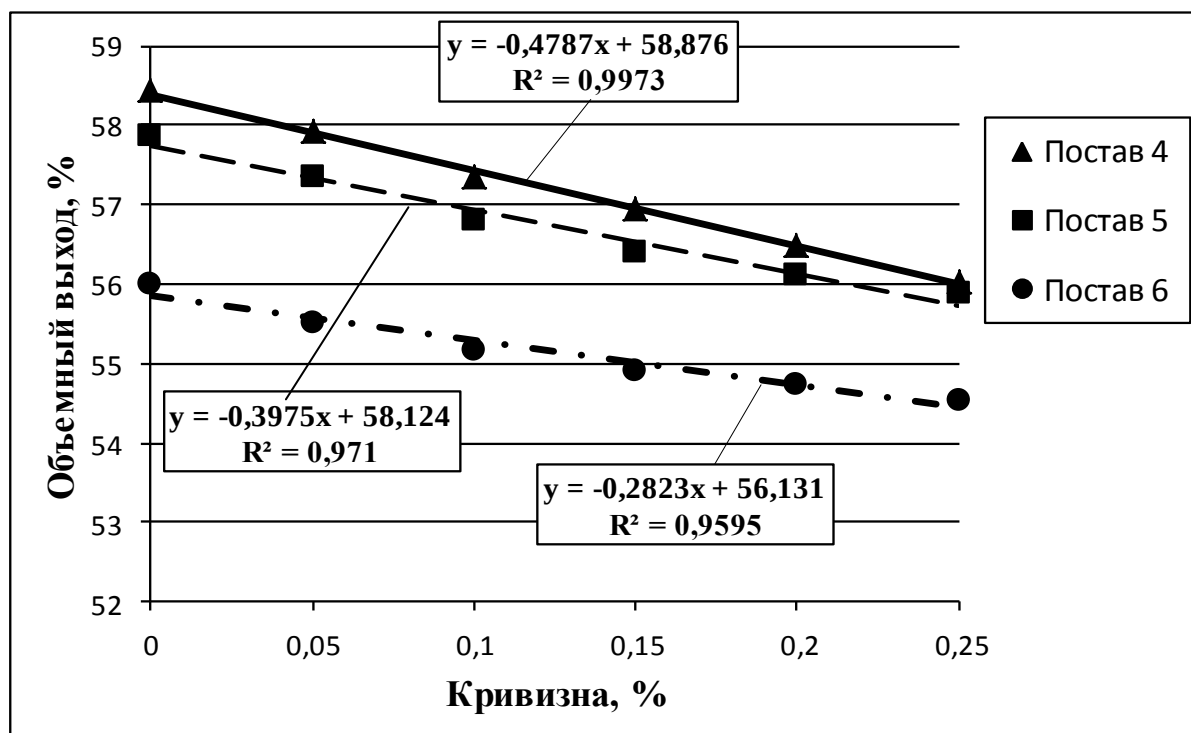


Рисунок 5.22 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 15 мм

Таблица 5.12 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

Кривизна, % при ddmax=20 мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	25	24,6	20,6	58,00	57,67	55,98
0,05	23,9	23,5	19,6	57,50	57,19	55,53
0,1	22,9	22,6	18,9	57,04	56,74	55,22
0,15	22,2	21,9	18,4	56,69	56,41	54,98
0,2	21,3	21,3	18,0	56,30	56,17	54,79
0,25	20,4	20,9	17,7	55,88	55,95	54,63

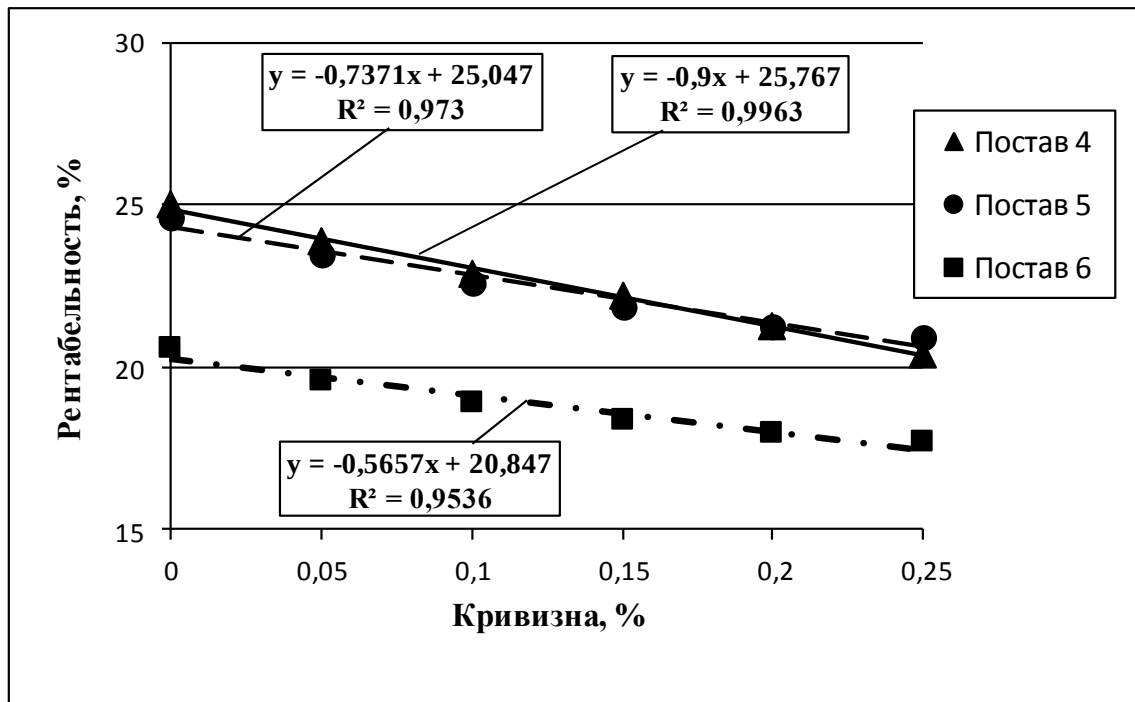


Рисунок 5.23 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

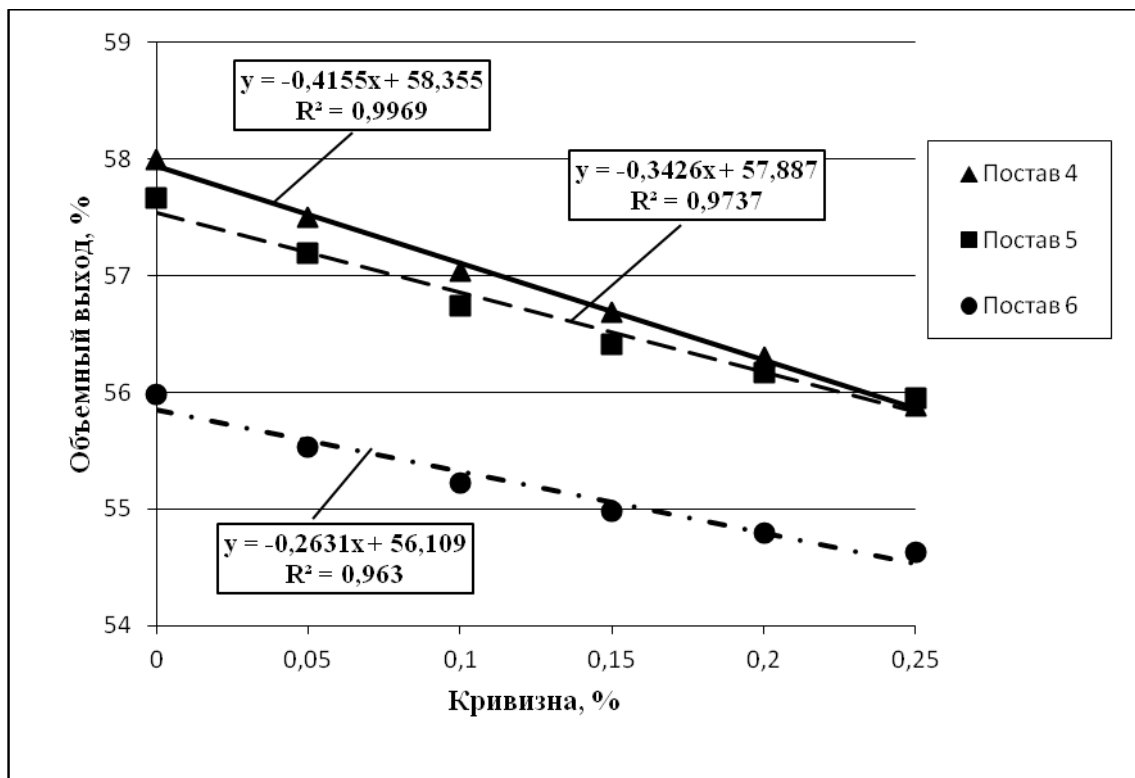


Рисунок 5.24 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

Таблица 5.13 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

Кривизна, % при ddmax=25 мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,7	25,2	21,4	57,39	57,44	55,93
0,05	23,7	24,2	20,6	56,96	57,02	55,54
0,1	22,8	23,4	19,9	56,54	56,63	55,24
0,15	22,2	22,8	19,4	56,23	56,35	54,99
0,2	21,4	22,3	19	55,89	56,14	54,81
0,25	20,5	21,9	18,6	55,44	55,95	54,64

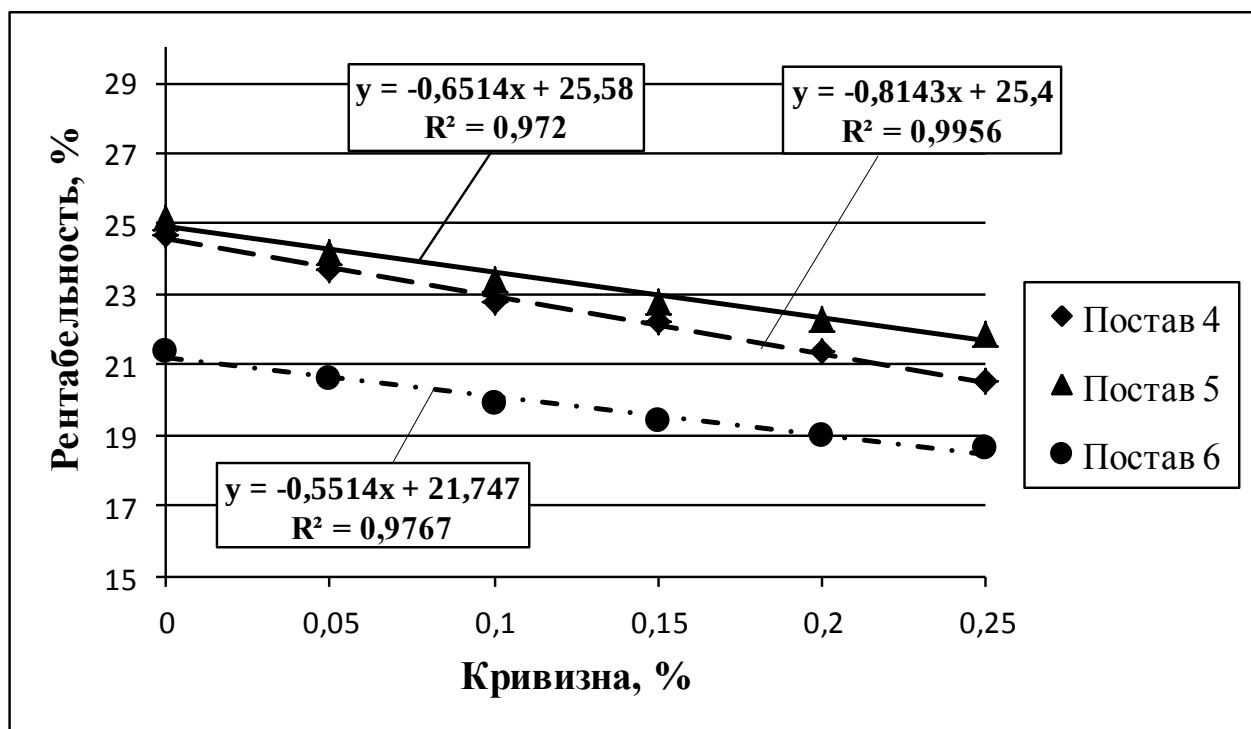


Рисунок 5.25 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 25 мм

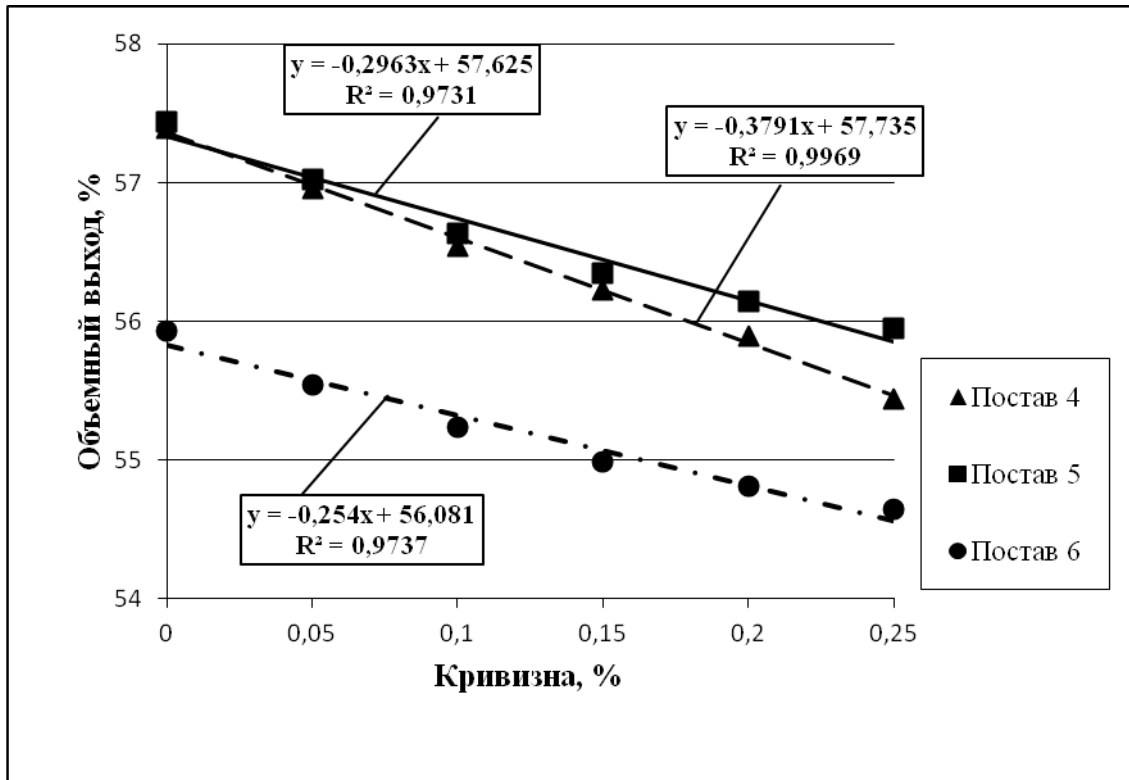


Рисунок 5.26 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 25 мм

Таблица 5.14 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

Кривизна, % при ddmax=30 мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,3	25,7	21,8	56,89	57,33	55,77
0,05	23,5	24,9	21	56,51	56,95	55,39
0,1	22,7	24,2	20,3	56,14	56,62	55,11
0,15	22,2	23,6	19,9	55,90	56,36	54,90
0,2	21,6	23,2	19,5	55,62	56,18	54,73
0,25	20,4	22,7	19,1	55,09	55,97	54,54

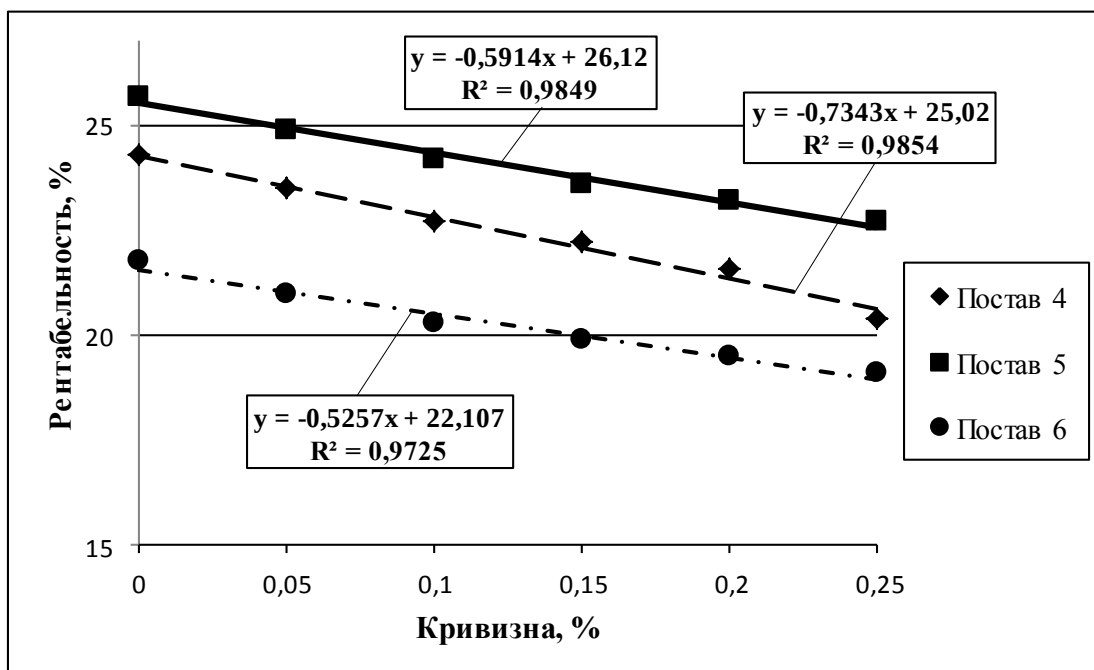


Рисунок 5.27 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

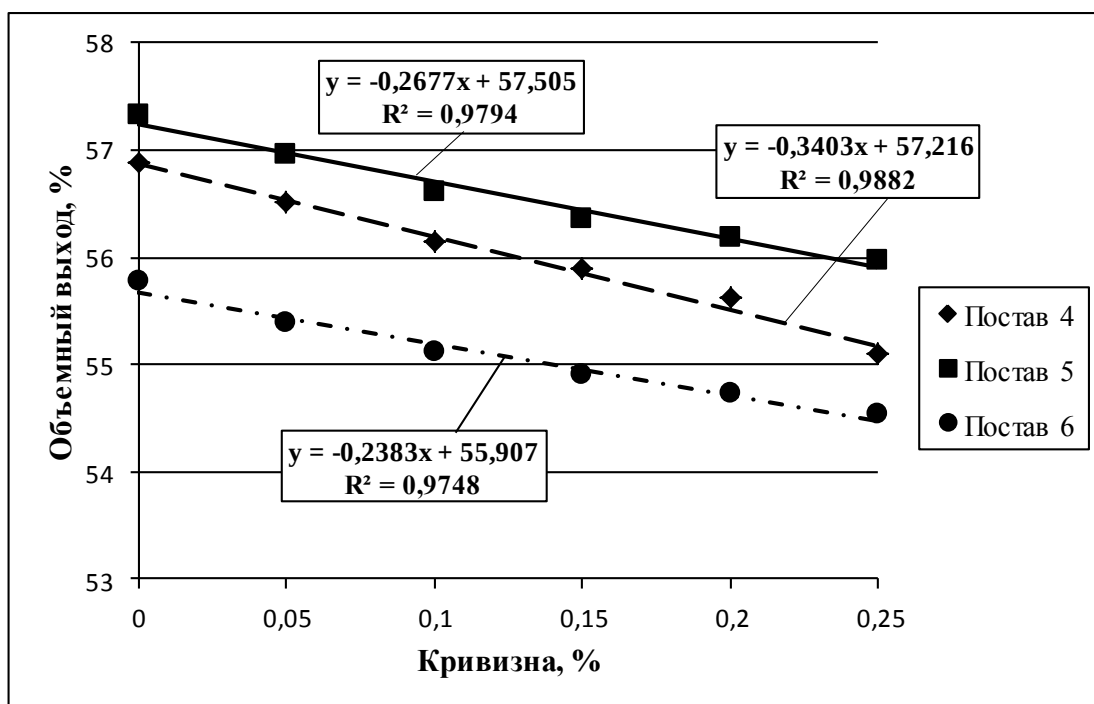


Рисунок 5.28 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

Из рисунков 5.16, 5.18, 5.20, 5.22, 5.24, 5.26, 5.28 видно, что объемный выход досок из брёвен 22 см/5,5 м снижается при увеличении кривизны либо по линейному, либо по квадратичному закону (с достаточно высокими

коэффициентами детерминации: от 0,945 до 0,999). Величина снижения объёмного выхода зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен и от постава пил. При изменении среднего значения кривизны от 0 до 0,25 % с размахом варьирования от 0 до 0,50 % объёмный выход для постава №4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 2,5 мм на 2,9 %, для постава №5 – на 2,2 %, а для постава №6 – на 1,8 %. При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение объёмного выхода составляет соответственно 1,8: 1,4: 1,2 %. Нетрудно видеть, что даже небольшая кривизна брёвен (до 0,25 %) приводит к существенному снижению объёмного выхода пиломатериалов (до 2,9 %). Чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине, тем сильнее кривизна снижает объёмный выход.

Из рисунков 5.15, 5.17, 5.19, 5.21, 5.23, 5.25, 5.27 видно, что рентабельность, как и объёмный выход досок из брёвен 22 см/5,5 м, снижается при увеличении кривизны либо по линейному, либо по квадратичному закону (с коэффициентами детерминации от 0,952 до 0,999). Причём, квадратичная зависимость наблюдается при очень высокой дробности сортировки брёвен по толщине (до ± 5 мм) и низком качестве постава (№ 6). Величина снижения рентабельности зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии и от постава пил. При изменении среднего значения кривизны от 0 до 0,25 % с размахом варьирования от 0 до 0,50 % рентабельность для постава № 4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 5 мм на 5,8 %, для постава № 5 – на 4,2 %, а для постава № 6 – на 3,5 %. При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение рентабельности составляет соответственно 3,9: 3,0: 2,7 %. Следует отметить, что даже небольшая кривизна брёвен (до 0,25 %) приводит к существенному снижению рентабельности производства пиломатериалов (до 5,8 %). Чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине, тем сильнее кривизна снижает рентабельность производства пиломатериалов.

Сравнивая закономерности снижения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства, обусловленные кривизной брёвен, видим, что они также схожи, как и обусловленные эллиптичностью. Объясняется это тем, что кривизна так же, как и эллиптичность снижает рентабельность только через снижение объёмного выхода пиломатериалов.

5.4 Влияние кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства

Результаты исследования влияния кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства представлены в таблицах 5.15...5.21 и на рисунках 5.29...5.42.

На рисунках 5.29...5.42 так же, как и на рисунках 5.16...5.28 по оси абсцисс откладываются средние арифметические значения кривизны брёвен. Средние квадратические отклонения кривизны равняются $1/3$ от средних арифметических значений.

Таблица 5.15 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 2,5 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0,00	1,4	-1,1	-4	59,33	57,82	56,29
0,05	0,7	-1,8	-4,5	58,9	57,4	55,85
0,10	-0,1	-2,6	-5,4	58,45	56,95	55,31
0,15	-0,8	-3,3	-6,5	58,03	56,53	54,67
0,20	-1,8	-4,3	-7,1	57,4	55,98	54,32
0,25	-3,3	-4,9	-7,4	56,57	55,59	54,15

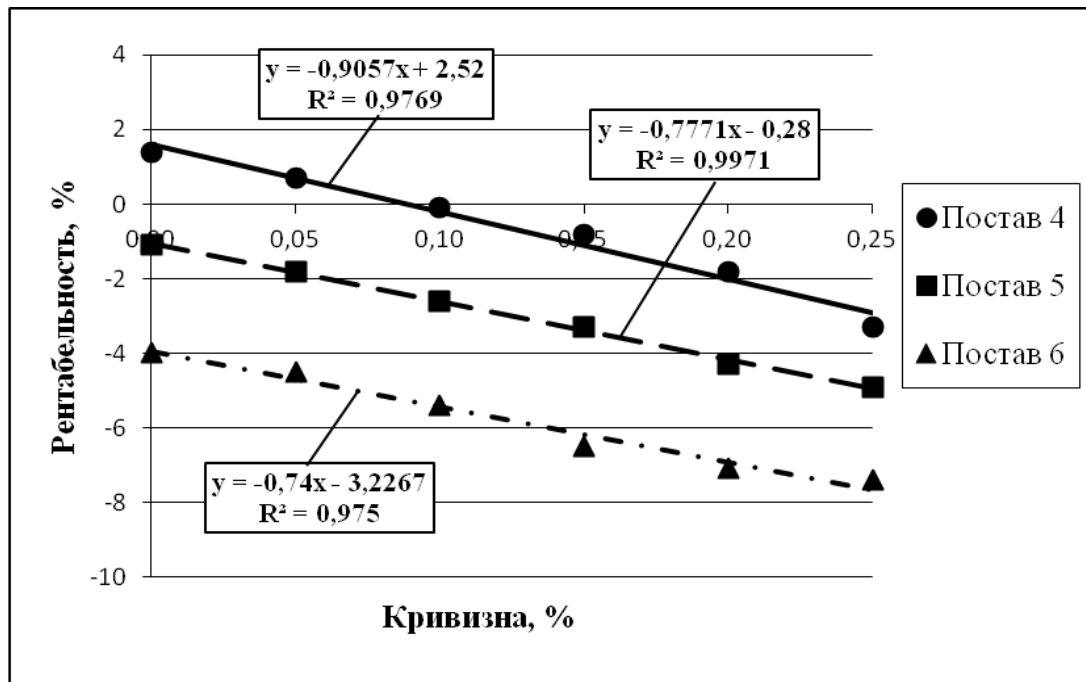


Рисунок 5.29 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

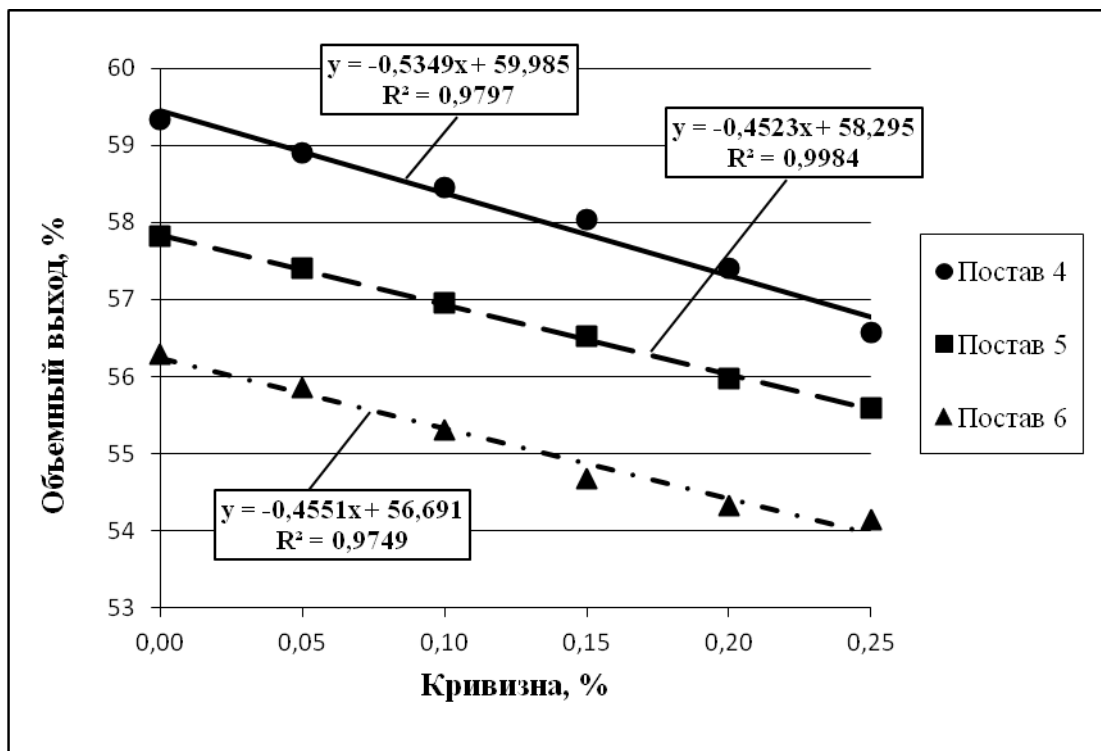


Рисунок 5.30 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 2,5 мм

Таблица 5.16 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	14,4	12,0	8	59	57,54	55,85
0,05	13,6	10,8	7,4	58,59	57,13	55,4
0,1	12,7	9,9	6,2	57,14	56,68	54,79
0,15	12,0	9,1	5,2	57,69	56,25	54,26
0,2	10,6	8,0	4,6	57,06	55,67	53,96
0,25	9,0	7,3	4,1	56,23	55,33	53,73

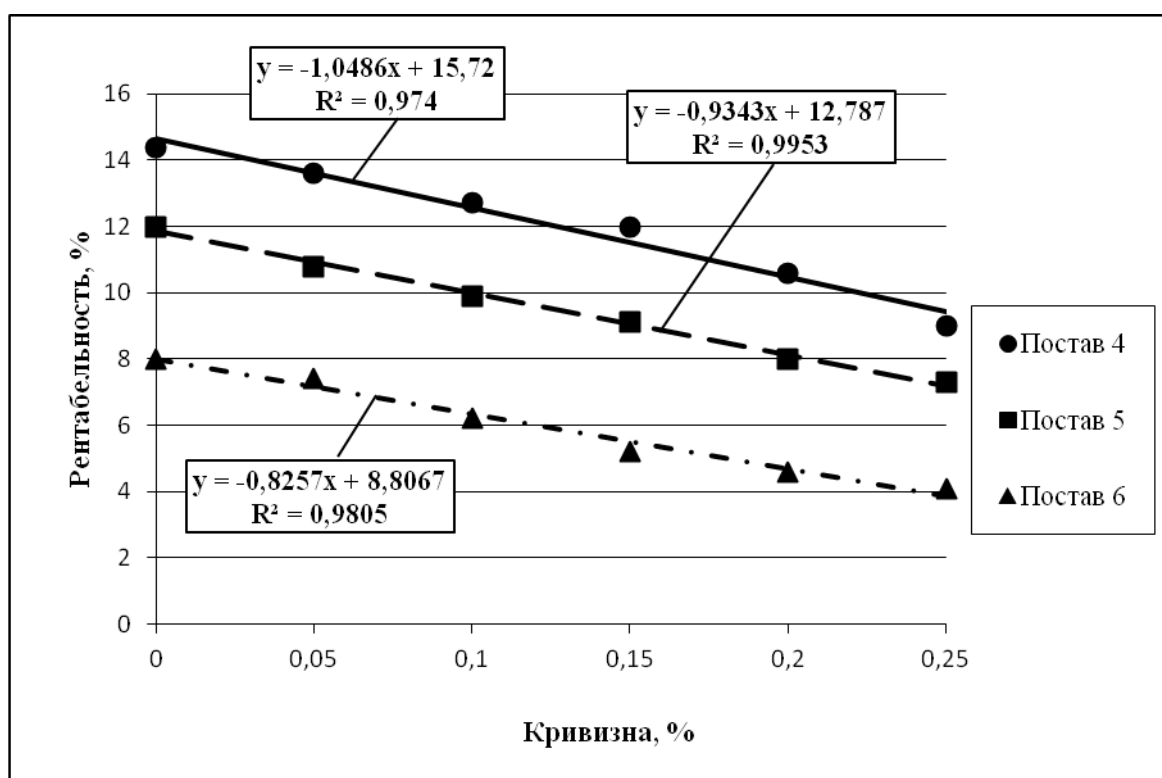


Рисунок 5.31 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

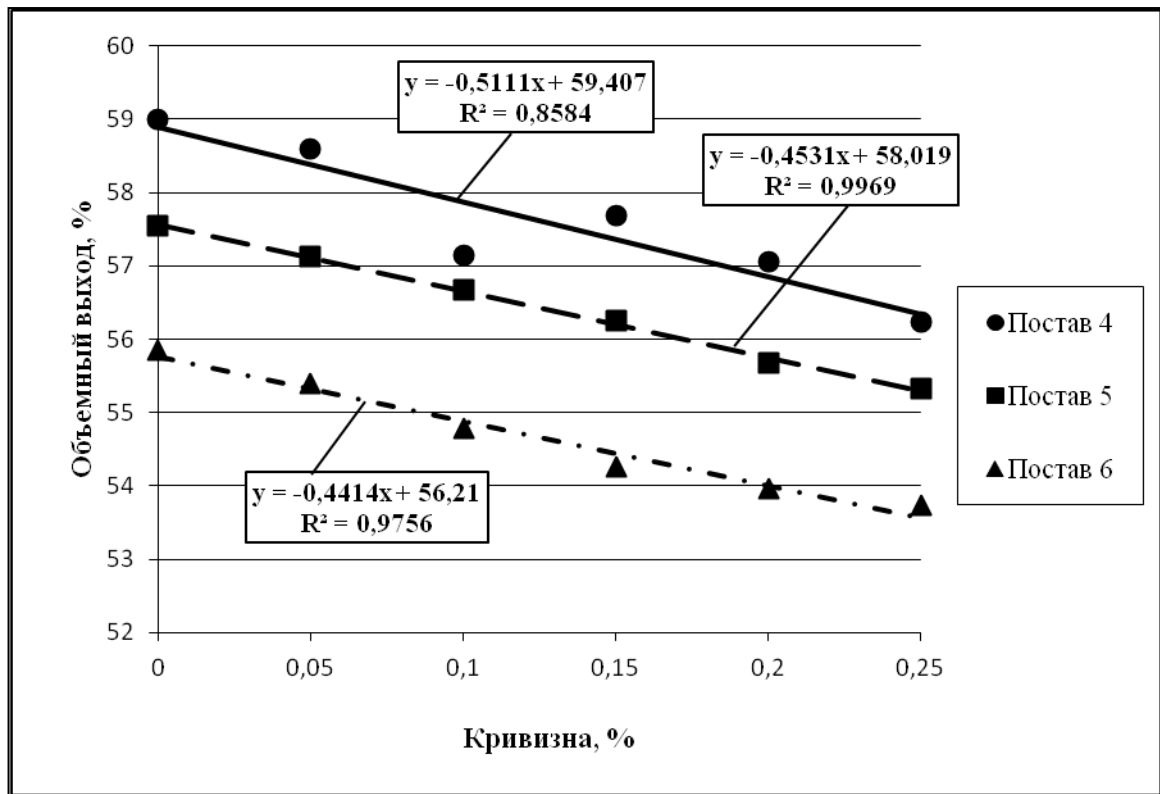


Рисунок 5.32 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 5 мм

Таблица 5.17 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	20,5	18,5	14,7	57,99	56,96	55,22
0,05	19,7	17,6	13,6	57,59	56,58	54,69
0,1	18,8	16,7	12,3	57,15	56,14	54,08
0,15	17,5	15,5	11,5	56,55	55,57	53,71
0,2	16,5	14,6	11,0	56,02	55,1	53,46
0,25	15,0	14,0	10,6	55,32	54,82	53,25

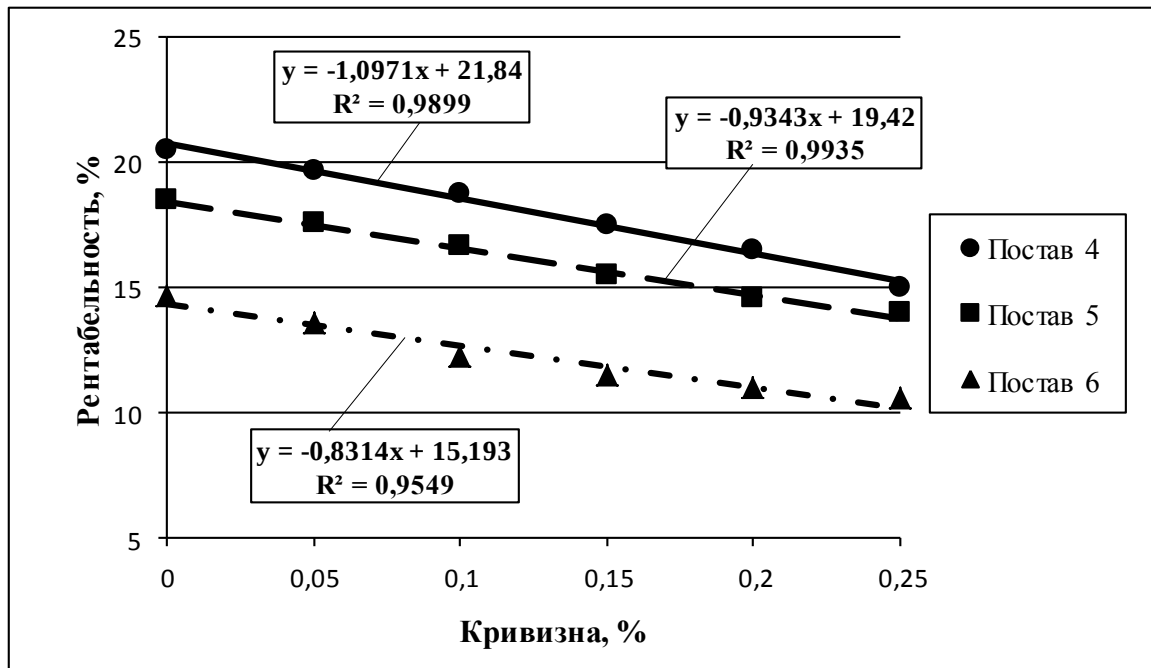


Рисунок 5.33 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

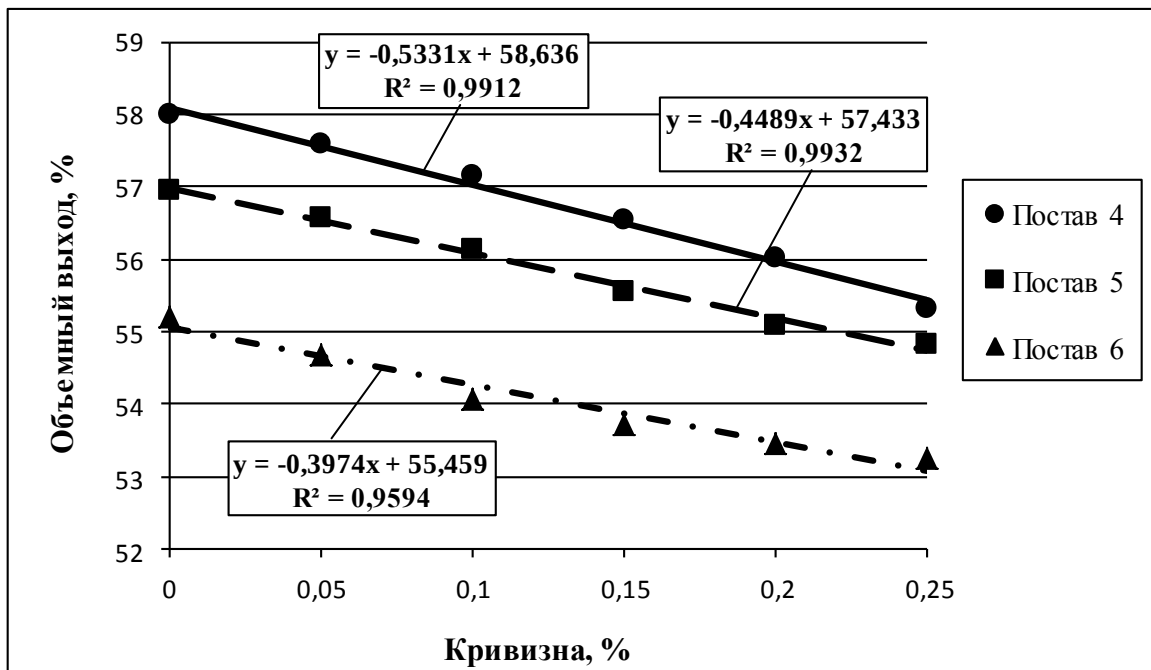


Рисунок 5.34 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны брёвен при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщин брёвен 10 мм

Таблица 5.18 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	22,4	20,6	16,7	57,47	56,56	54,84
0,05	21,6	19,7	15,6	57,07	56,16	54,34
0,1	20,6	18,7	14,5	56,58	55,68	53,84
0,15	19,5	17,7	13,8	56,08	55,19	53,51
0,2	18,5	16,9	13,3	55,6	54,85	53,28
0,25	17,4	16,4	13	55,08	54,58	53,19

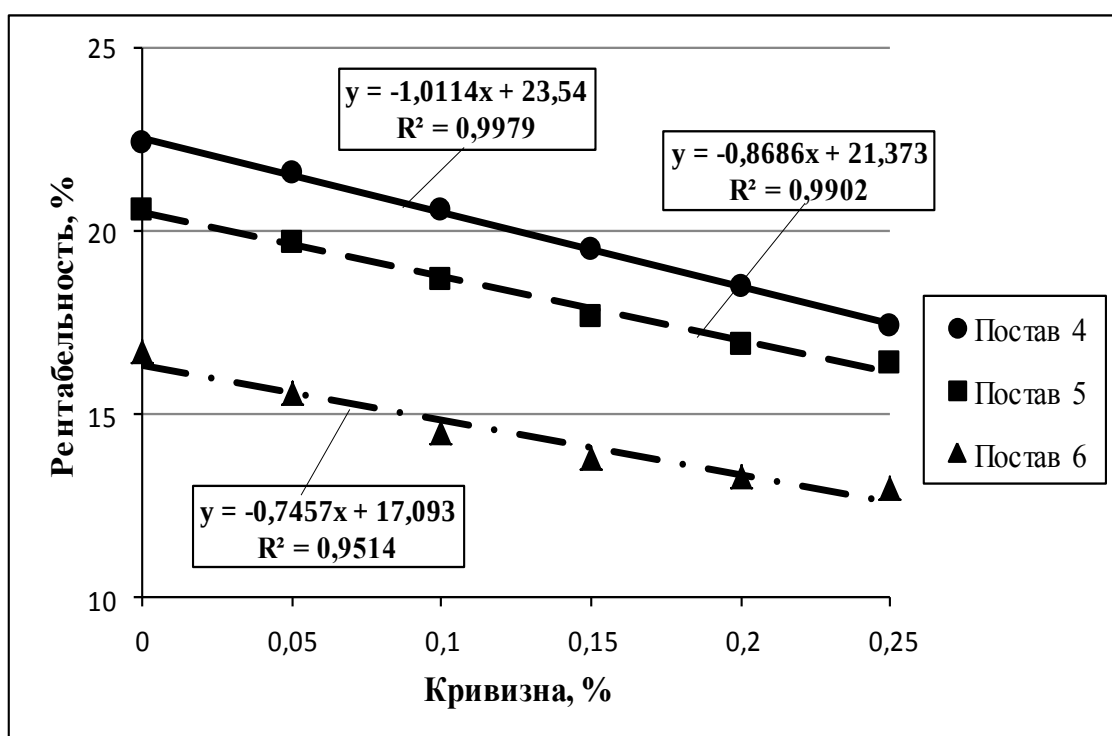


Рисунок 5.35 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 15 мм

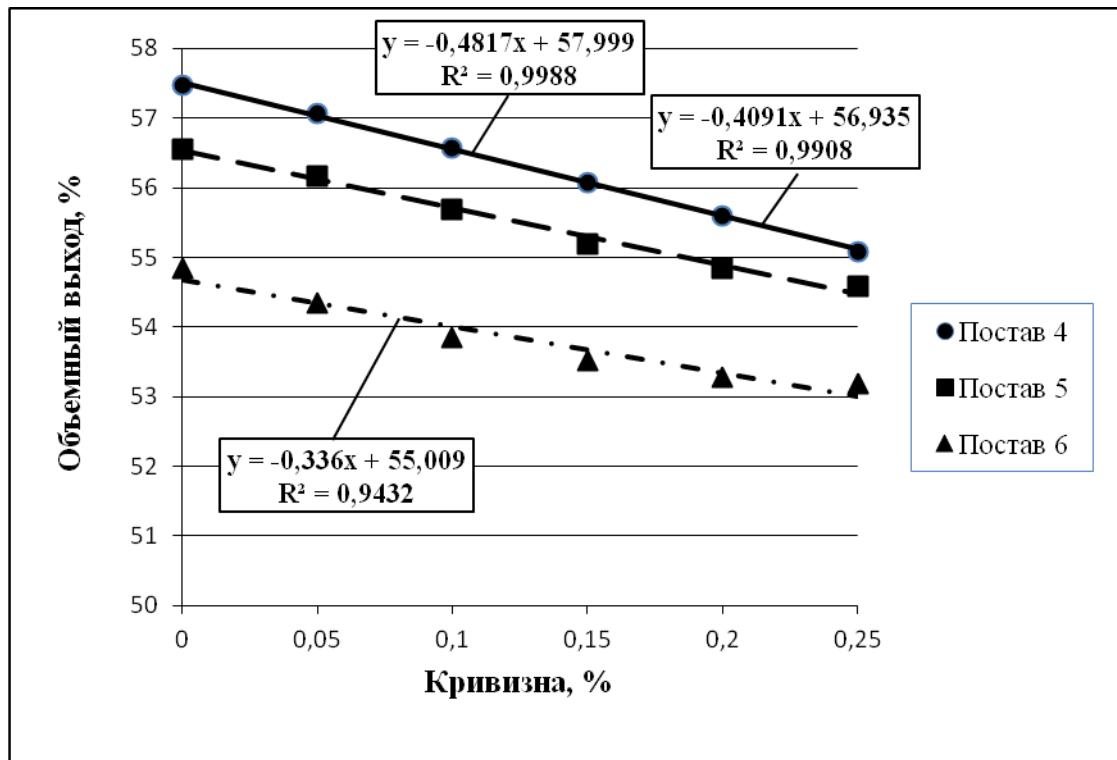


Рисунок 5.36 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины

15 мм

Таблица 5.19 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0,05	22,6	21,1	17,2	56,63	56,06	54,4
0,1	21,7	20,2	16,3	56,19	55,62	53,99
0,15	20,7	19,3	15,6	55,77	55,22	53,68
0,2	20,0	18,7	15,2	55,4	54,96	53,47
0,25	19,0	18,2	14,8	54,98	54,72	53,29

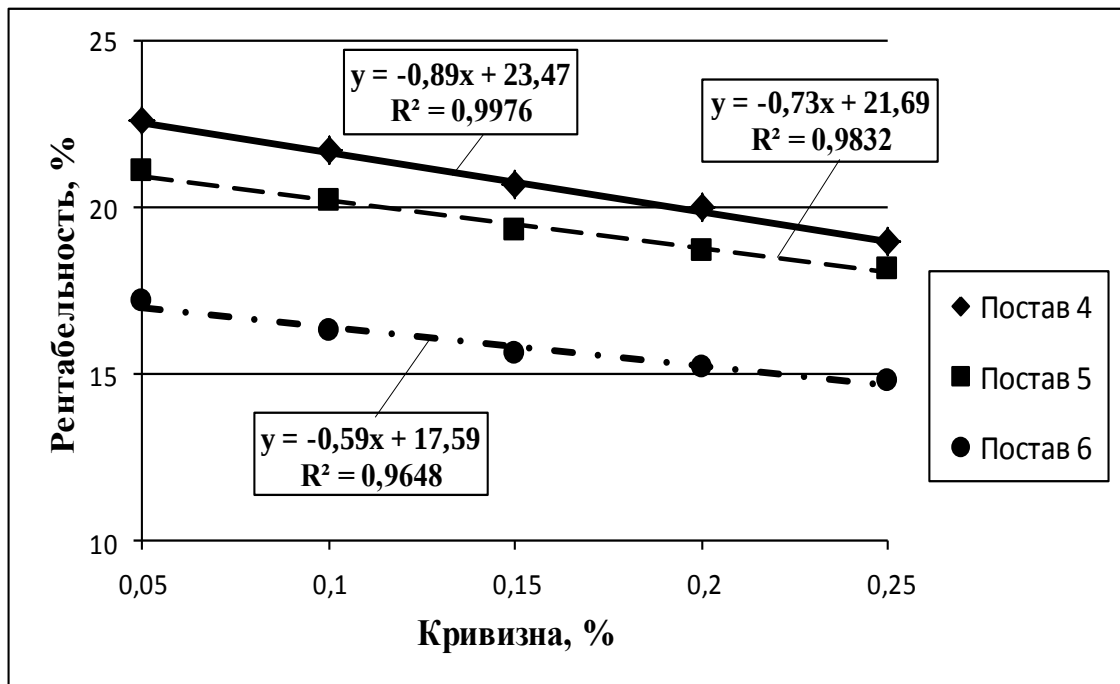


Рисунок 5.37 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

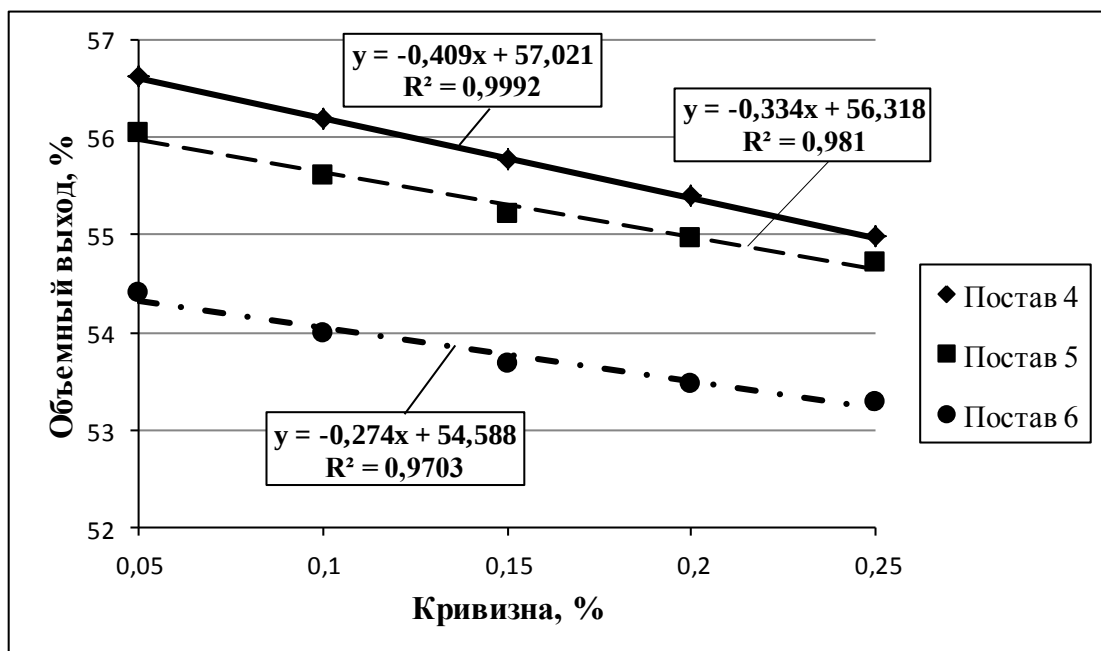


Рисунок 5.38 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 20 мм

Таблица 5.20 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	23,5	22,90	19,10	56,50	56,40	54,84
0,05	22,6	22,00	18,20	56,10	56,00	54,43
0,1	21,7	21,80	17,40	55,69	55,60	54,06
0,15	20,9	20,40	16,80	55,34	55,26	53,80
0,2	20,3	20,00	16,40	55,06	55,05	53,60
0,25	19,3	19,50	16,00	54,59	54,83	53,44

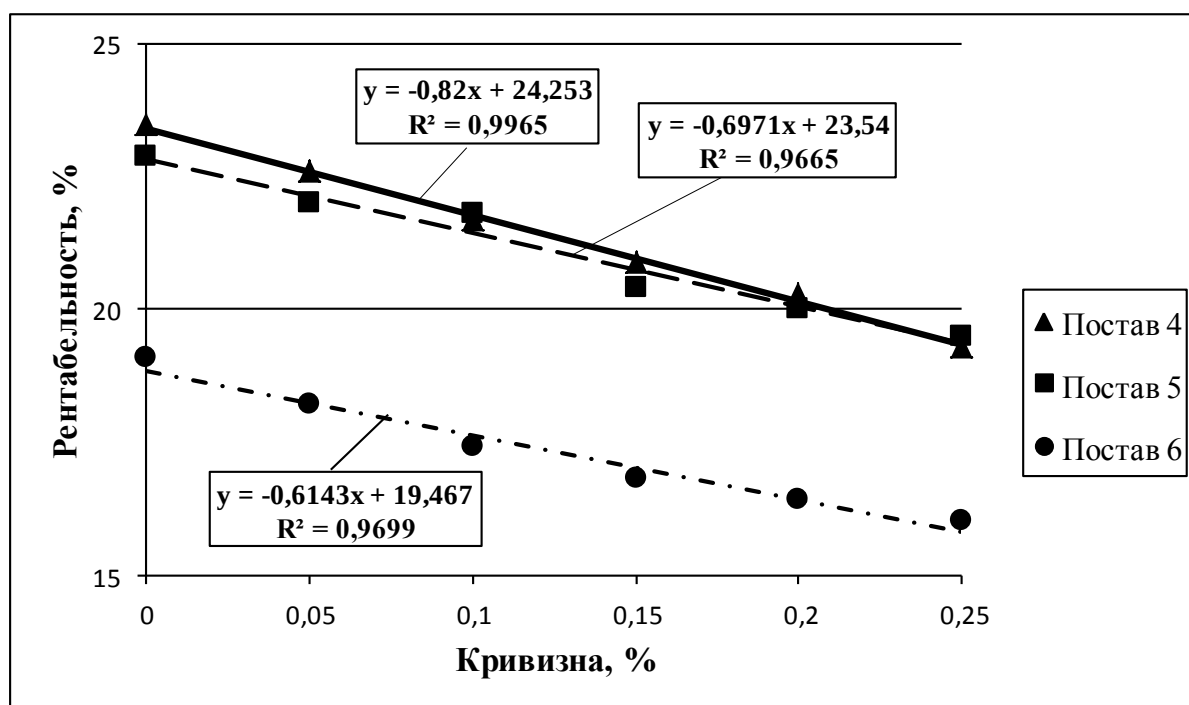


Рисунок 5.39 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 25 мм

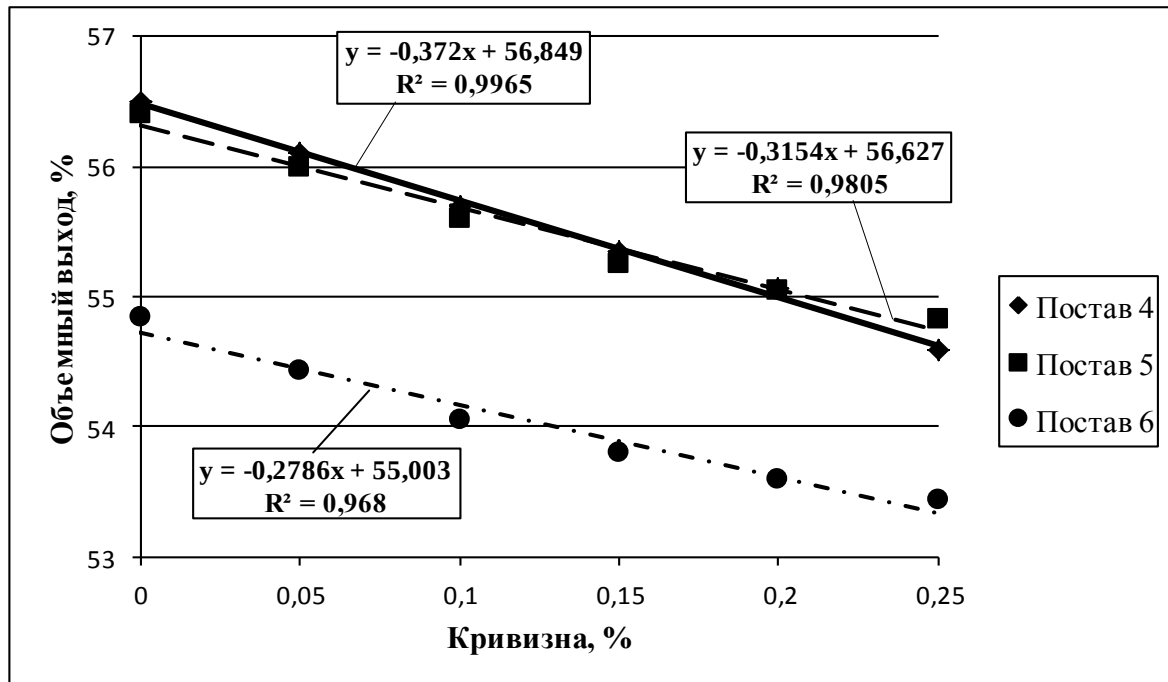


Рисунок 5.40 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины

25 мм

Таблица 5.21 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

Кривизна, %	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	23,5	23,6	19,7	56,12	56,36	54,83
0,05	22,7	22,8	19,0	55,75	56,01	54,47
0,1	21,9	22,1	18,2	55,39	55,67	54,12
0,15	21,3	21,5	17,6	55,10	55,39	53,87
0,2	20,7	21,1	17,3	54,85	55,22	53,70
0,25	19,7	20,6	16,9	54,39	55,00	53,53

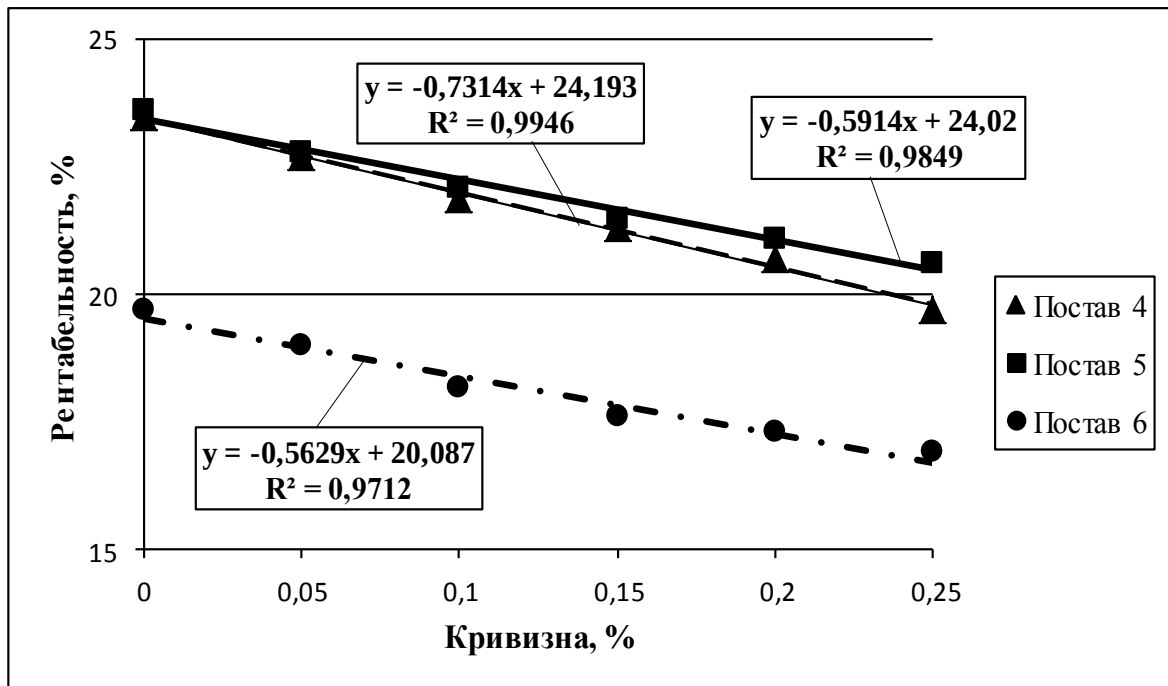


Рисунок 5.41 – Зависимость рентабельности от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

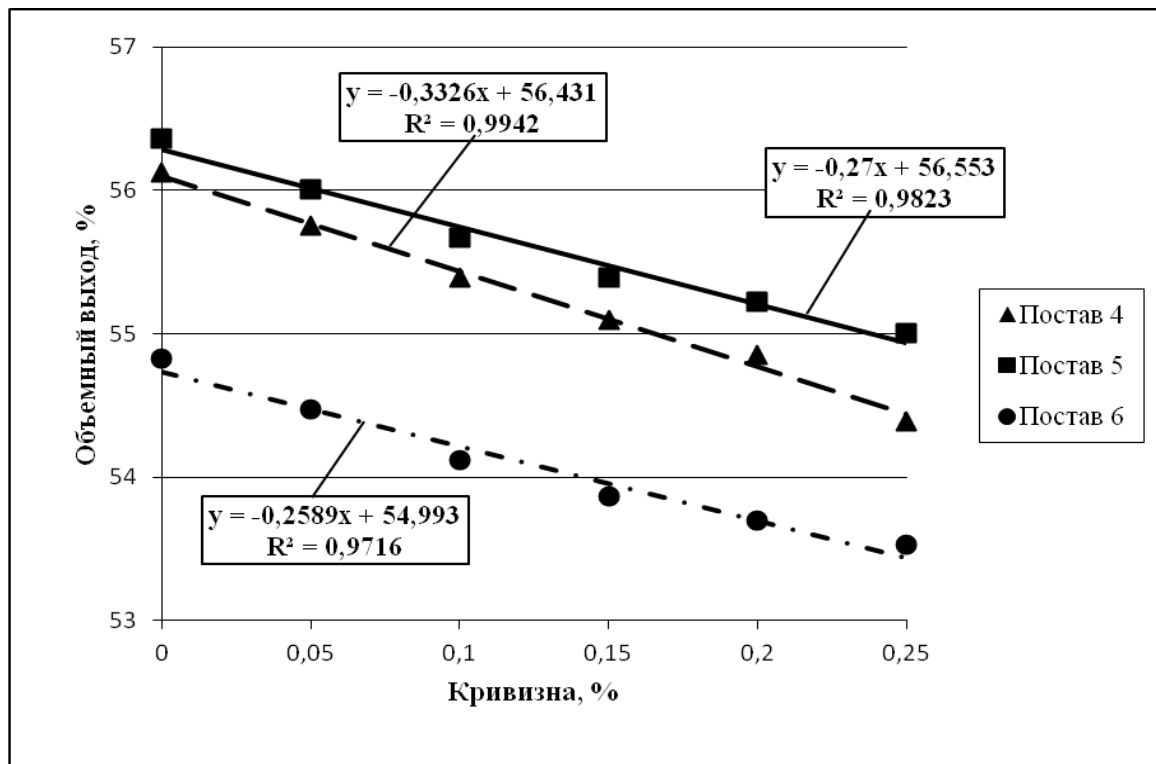


Рисунок 5.42 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от кривизны бревна при эллиптичности 6 мм и при амплитуде варьирования его толщины 30 мм

Из рисунков 5.30, 5.32, 5.34, 5.36, 5.38, 5.40, 5.42 видно, что объёмный выход досок из брёвен 22 см/5,5 м со средней эллиптичностью 6 мм снижается при увеличении кривизны по линейному закону (с достаточно высокими коэффициентами детерминации: от 0,858 до 0,999). Величина снижения объёмного выхода зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен и от постава пил. При изменении среднего значения кривизны от 0 до 0,25 % с размахом варьирования от 0 до 0,50 % объёмный выход для постава №4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 2,5 мм на 2,8 % (на 2,9 % - без учёта эллиптичности), для постава № 5 – на 2,2 % (на 2,2 % - без учёта эллиптичности), а для постава № 6 – на 2,1 % (на 1,8 % - без учёта эллиптичности). При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение объёмного выхода составляет соответственно 1,7; 1,4; 1,3 % (1,8; 1,4; 1,2 % - без учёта эллиптичности). Нетрудно видеть, что случайная кривизна брёвен со средним значением до 0,25 % приводит к существенному снижению объёмного выхода пиломатериалов до 2,8 % (до 2,9 % - без учёта эллиптичности). Чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине, тем сильнее кривизна снижает объёмный выход.

Для уточнения парного влияния кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов сравним величины снижения объёмного выхода, обусловленные эллиптичностью 6 мм без учёта кривизны и с учётом кривизны: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 % при различной дробности сортировки брёвен по диаметрам и разных поставах [92]. Для дробности сортировки брёвен по диаметрам 2,5 мм и постава № 4 получаем 0,81 % и 0,80; 0,82; 0,60; 0,68; 0,66 % – среднее значение - 0,73 %, для постава № 5 - 0,86 % и 0,85; 0,87; 0,67; 0,78; 0,87 % – среднее - 0,82 %, для постава №6 - 1,01 % и 1,01; 0,66; 0,91; 1,16; 1,30 % – среднее – 1,01 %.

Для дробности сортировки брёвен по диаметрам 20 мм и постава № 4 получаем 0,93 % и 0,87; 0,85; 0,92; 0,90; 0,90 % – среднее – 0,89 %, для постава № 5 – 1,16 % и 1,13; 1,12; 1,19; 1,21; 1,23 % – среднее – 1,18 %.

Для дробности сортировки 30 мм и постова № 4 получаем 0,77 % и 0,76; 0,75; 0,80; 0,77; 0,70 % – среднее – 0,76 %, для постова № 5 – 1,07 % и 0,94; 0,95; 0,97; 0,96; 0,97 % – среднее 0,96 %, для постова № 6 – 0,93 % и 0,92; 0,99; 1,03; 1,03; 1,01 % – среднее – 1,00 %.

Таким образом, дополнительный учёт случайной эллиптичности брёвен со средним значением 6 мм не оказывает существенного влияния на характер зависимости объёмного выхода пиломатериалов от кривизны брёвен. Наличие эллиптичности снижает объёмный выход от 0,6 до 1,3 % при всех рассмотренных значениях кривизны, «опуская» графики исследуемых зависимостей вниз, существенно не изменяя углов их наклона.

Следует также отметить, что эллиптичность и кривизна брёвен не вызывают взаимного усиления их отрицательного влияния на объёмный выход пиломатериалов. Напротив, наблюдается эффект взаимного ослабления влияний. Однако величина ослабления настолько мала (от 0 до 0,11 %), что можно считать, что парного взаимодействия эллиптичности и кривизны при их влиянии на объёмный выход пиломатериалов нет. Есть суммирование отдельных влияний.

Из рисунков 5.29, 5.31, 5.33, 5.35, 5.37, 5.39, 5.41 видно, что рентабельность, как и объёмный выход досок из брёвен 22 см/5,5 м, снижается при увеличении кривизны и при учёте эллиптичности по линейному закону (с коэффициентами детерминации от 0,952 до 0,999). Величина снижения рентабельности зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии и от постова пил. При изменении среднего значения кривизны от 0 до 0,25 % с размахом варьирования от 0 до 0,50 % рентабельность для постова № 4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 5 мм на 5,4 % (на 5,8 % - без учёта эллиптичности), для постова № 5 – на 4,7 % (на 4,2 % - без учёта эллиптичности), а для постова № 6 – на 3,9 % (на 3,5 % - без учёта эллиптичности). При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение рентабельности составляет соответственно 3,8; 3,0; 2,8 % (3,9; 3,0;

2,7 % - без учёта эллиптичности). Видим, что случайная кривизна брёвен со средним значением до 0,25 % при эллиптичности со средним значением 6 мм приводит к снижению рентабельности производства пиломатериалов до 5,4 %. Причём, чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине, тем сильнее кривизна снижает рентабельность производства пиломатериалов.

Для уточнения парного влияния кривизны и эллиптичности брёвен на рентабельность производства пиломатериалов воспользуемся тем же приёмом, что и для объёмного выхода пиломатериалов. Сравним величины снижения рентабельности, обусловленные эллиптичностью 6 мм без учёта кривизны и с учётом кривизны: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 % при различной дробности сортировки брёвен по диаметрам и разных поставках.

Для дробности сортировки брёвен по диаметрам 2,5 мм и поставка № 4 получаем 1,4 % и 1,4; 1,5; 1,2; 1,1; 1,2 % – среднее значение – 1,3%, для поставка № 5 – 1,5 % и 1,4; 1,5; 1,1; 1,4; 1,5 % – среднее – 1,4 %, для поставка №6 – 1,8 % и 1,7; 1,1; 1,5; 2,0; 2,2 % – среднее – 1,7 %.

Для дробности сортировки брёвен по диаметрам 20 мм и поставка № 4 получаем 1,4 % и 1,3; 1,2; 1,5; 1,3; 1,4 % – среднее – 1,3 %, для поставка № 5 – 2,5 % и 2,4; 2,4; 2,6; 2,6; 2,7 % – среднее – 2,5 %.

Таким образом, наличие случайной эллиптичности брёвен со средним значением 6 мм не оказывает существенного влияния на характер зависимости рентабельности от кривизны брёвен. Наличие эллиптичности в среднем снижает рентабельность на 1,1...2,7 % при всех рассмотренных значениях кривизны, «опуская» графики исследуемых зависимостей вниз, существенно не изменяя углов их наклона.

Следует также отметить, что эллиптичность и кривизна брёвен не вызывают взаимного усиления их отрицательного влияния на рентабельность производства пиломатериалов. Напротив, наблюдается эффект взаимного ослабления влияний. Однако величина ослабления настолько мала (от 0,01 до 0,14 %), что можно считать, что парного взаимодействия эллиптичности и

кривизны при их влиянии на рентабельность производства пиломатериалов нет. Есть суммирование отдельных влияний.

5.5 Влияние смещения бревна от центра постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства

Результаты исследования влияния точности центрирования брёвен и брусьев относительно постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства представлены в таблицах 5,22...5,28 и на рисунках 5,43...5,56 [91].

На рисунках 5.43...5.56 по оси абсцисс откладываются максимальные отклонения продольной оси бревна и бруса от центра постава пил. Величины смещений бревна и бруса принимаются равными между собой. Если влияние смещения на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства окажется существенными, то исследования будут дублироваться с независимыми смещениями брёвен и брусьев.

Таблица 5.22 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 2,5 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	2,8	0,4	-2,0	60,14	58,68	57,3
5	2,4	0,1	-2,4	59,86	58,56	57,11
10	1,1	-0,6	-3,3	59,14	58,17	56,52
15	0,2	-1,1	-3,9	58,61	57,9	56,19
20	-0,6	-1,5	-4,0	58,15	57,67	56,078

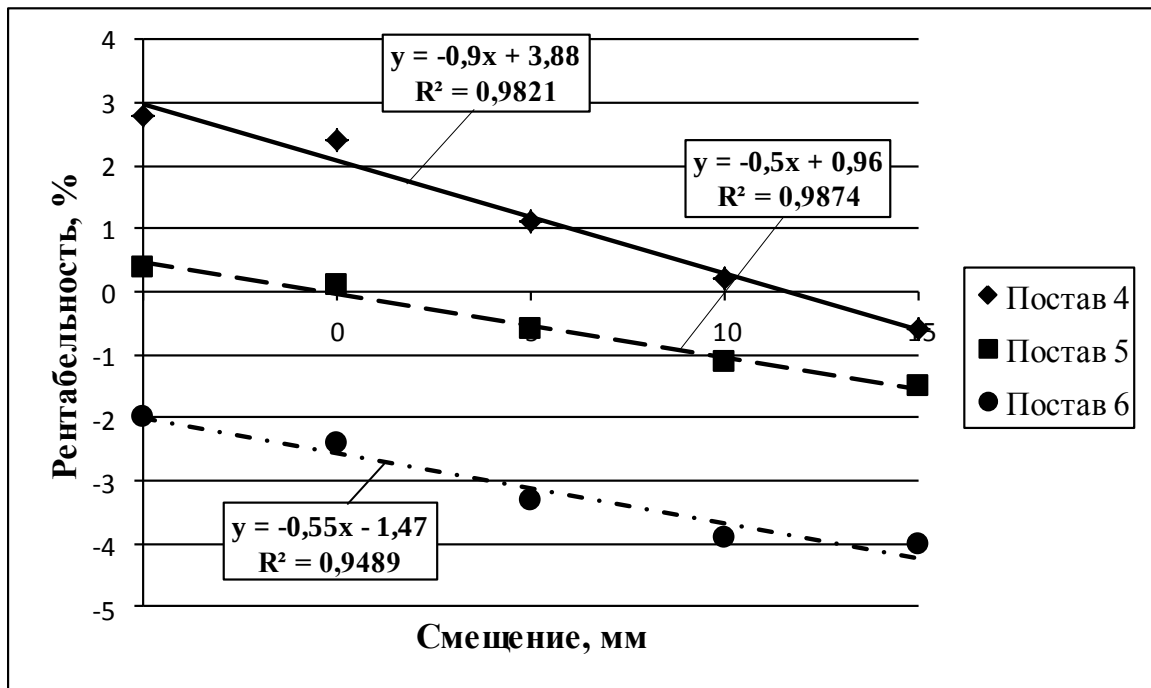


Рисунок 5.43 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 2,5 мм

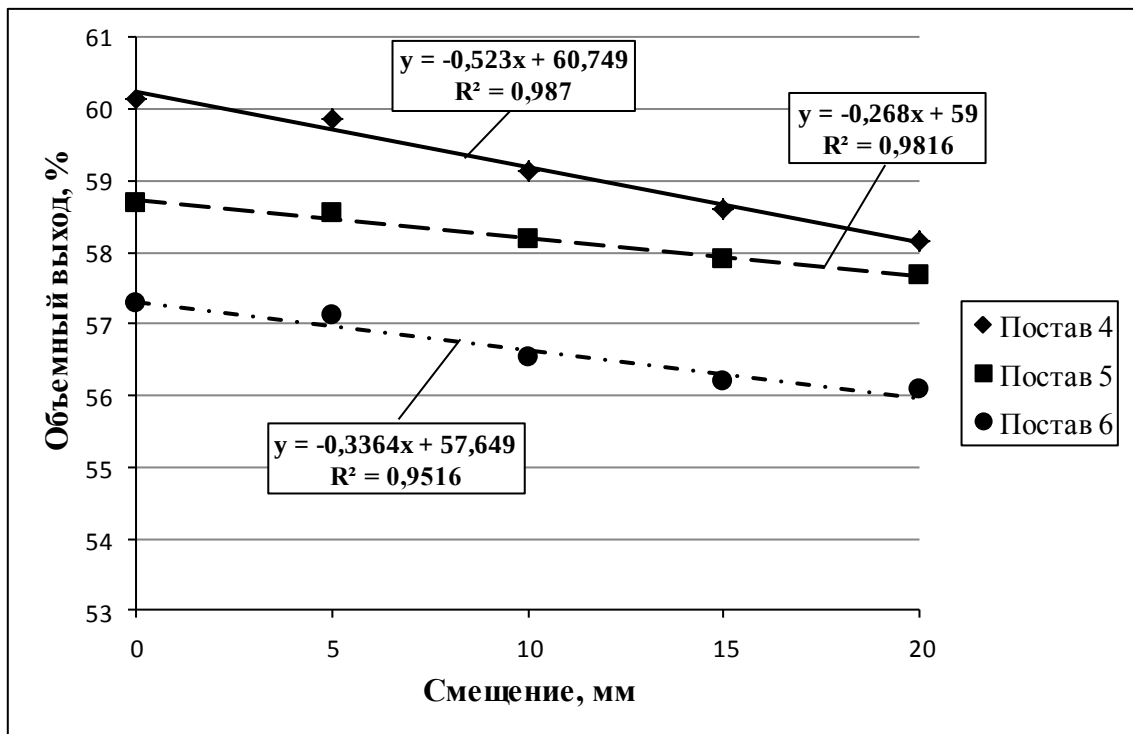


Рисунок 5.44 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 2,5 мм

Таблица 5.23 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	16,0	13,7	10,9	60,0	58,64	57,24
5	15,6	13,3	10,3	59,6	58,4	56,93
10	14,4	12,5	9,5	59,0	58,1	56,45
15	13,5	12,0	9,0	58,6	57,86	56,18
20	12,7	11,7	8,7	58,1	57,67	56,02

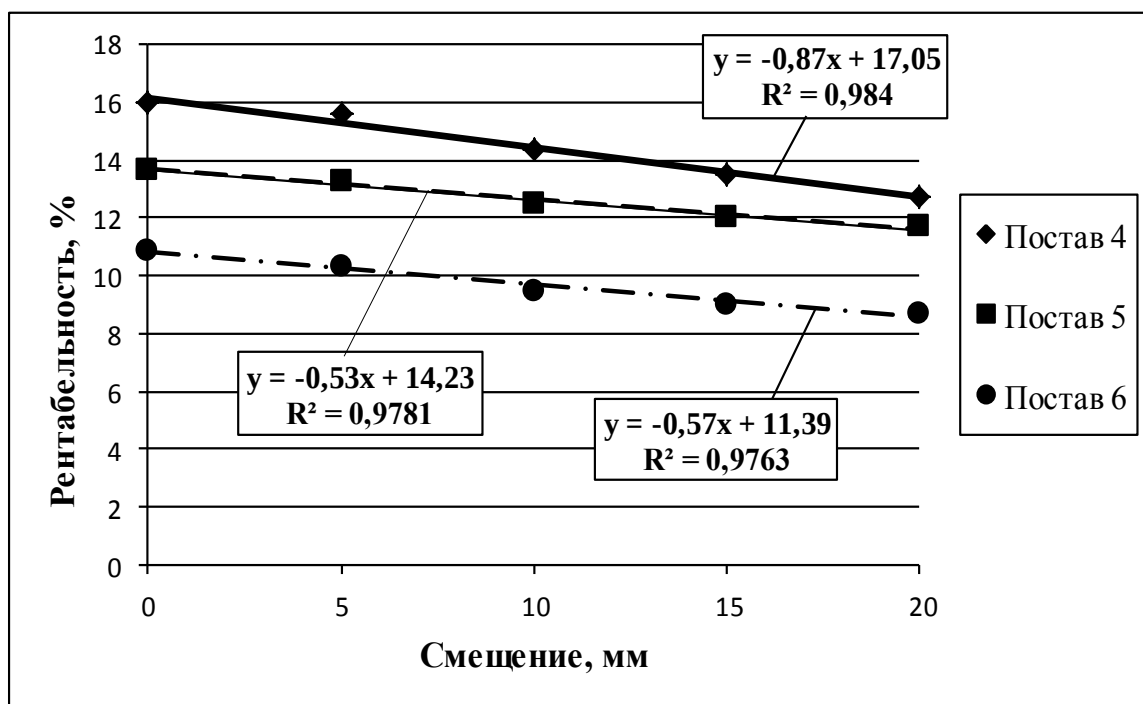


Рисунок 5.45 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

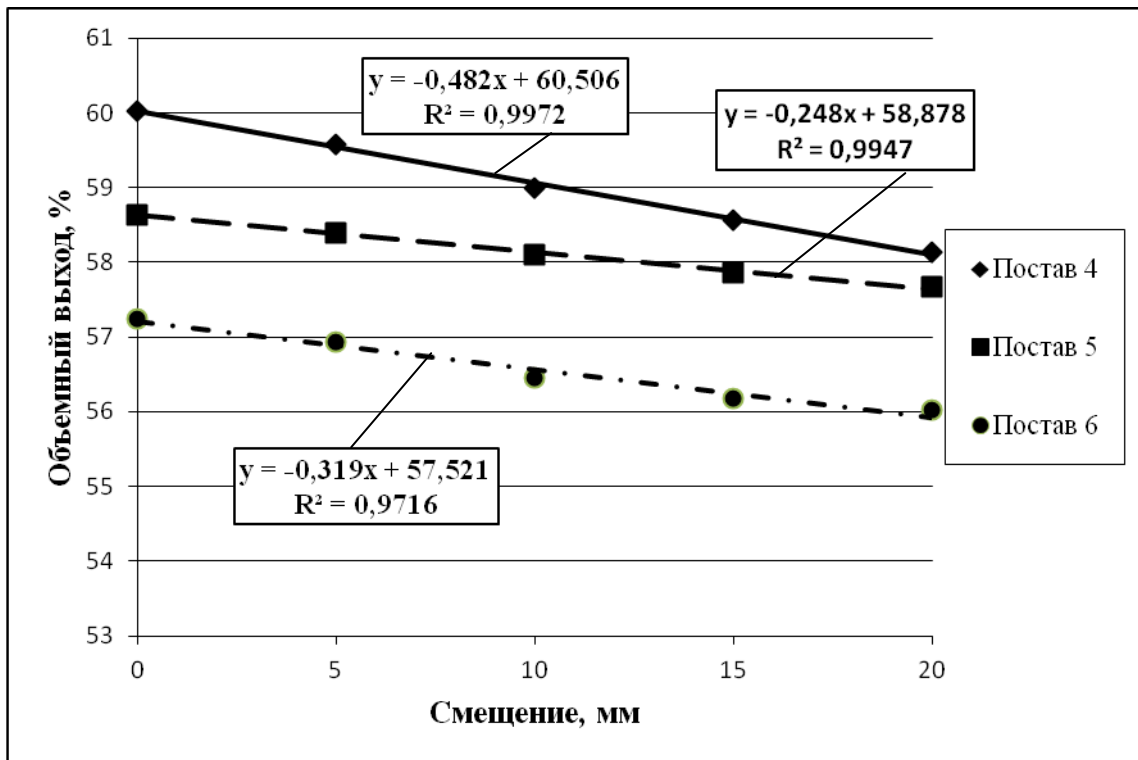


Рисунок 5.46 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 5 мм

Таблица 5.24 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	22,7	20,8	17	58,94	58,09	56,37
5	22,6	20,7	17	58,89	58,05	56,37
10	22,2	20,4	16,7	58,71	57,89	56,22
15	21,1	19,7	16,6	58,29	57,76	56,06
20	20,3	19,4	16,5	57,92	57,59	56,03

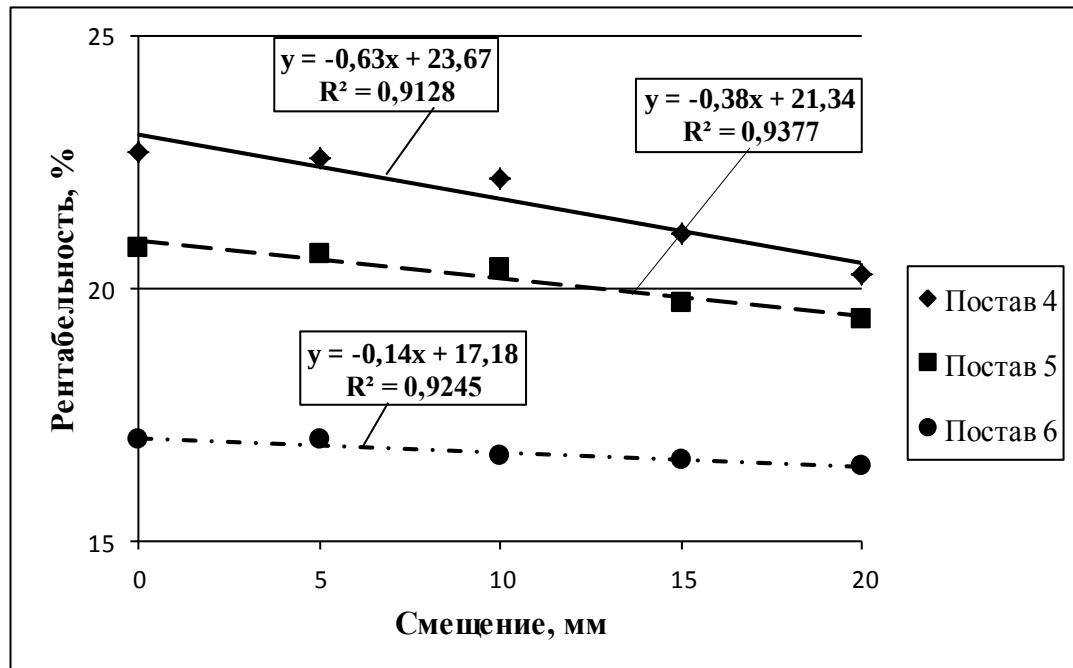


Рисунок 5.47 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

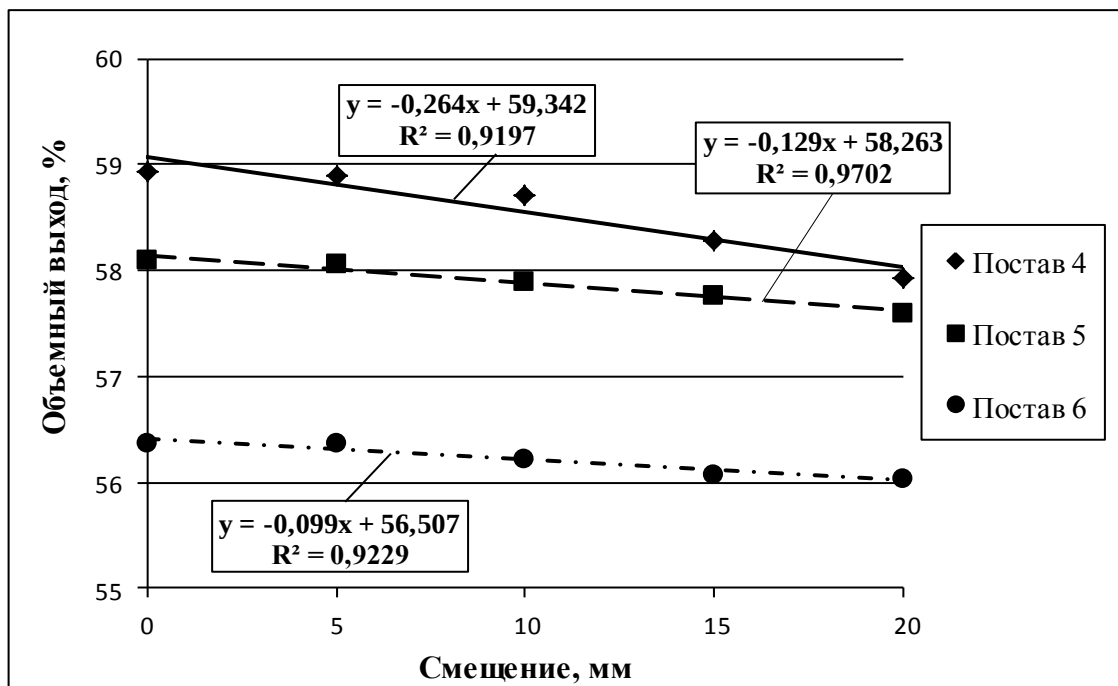


Рисунок 5.48 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 10 мм

Таблица 5.25 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,4	23,3	19,1	58,45	57,86	56,00
5	24,7	23,2	19,3	58,41	57,8	56,06
10	24,5	23,1	19,2	58,29	57,74	56,05
15	23,3	22,2	19,5	57,93	57,59	56,04
20	22,6	22,0	19,3	57,6	57,49	55,90

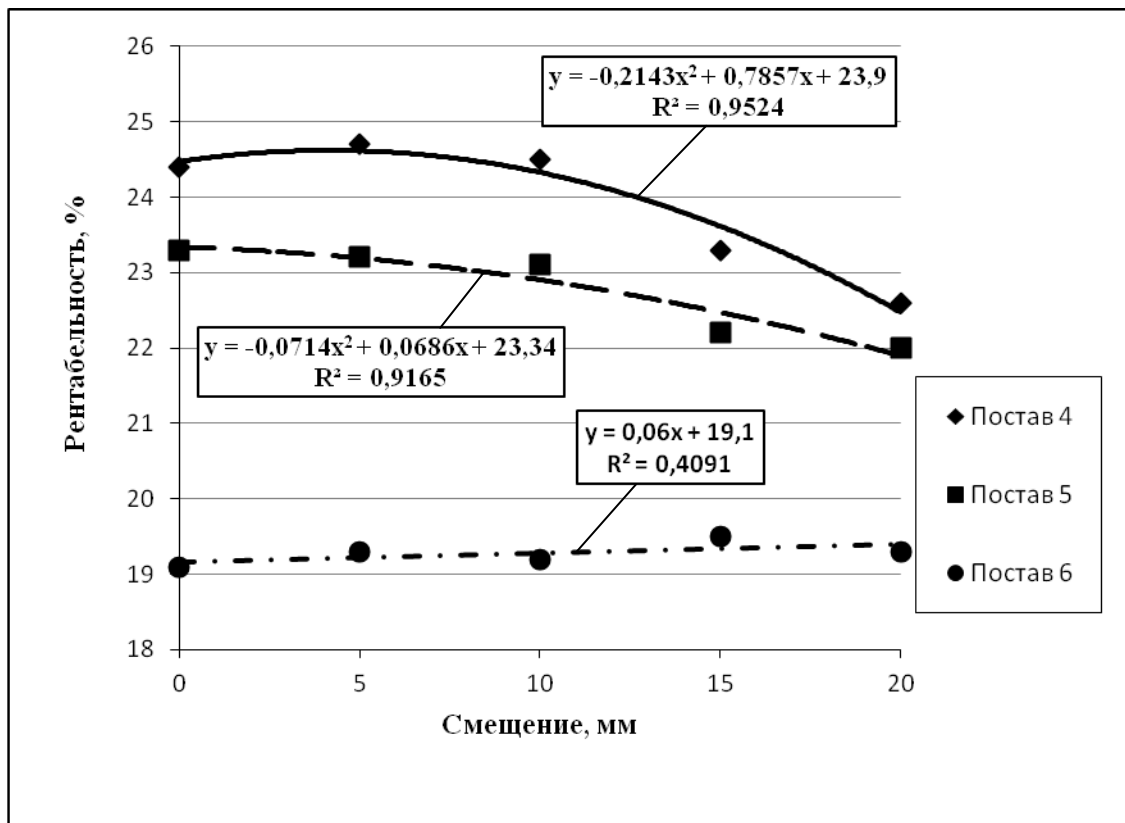


Рисунок 5.49 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

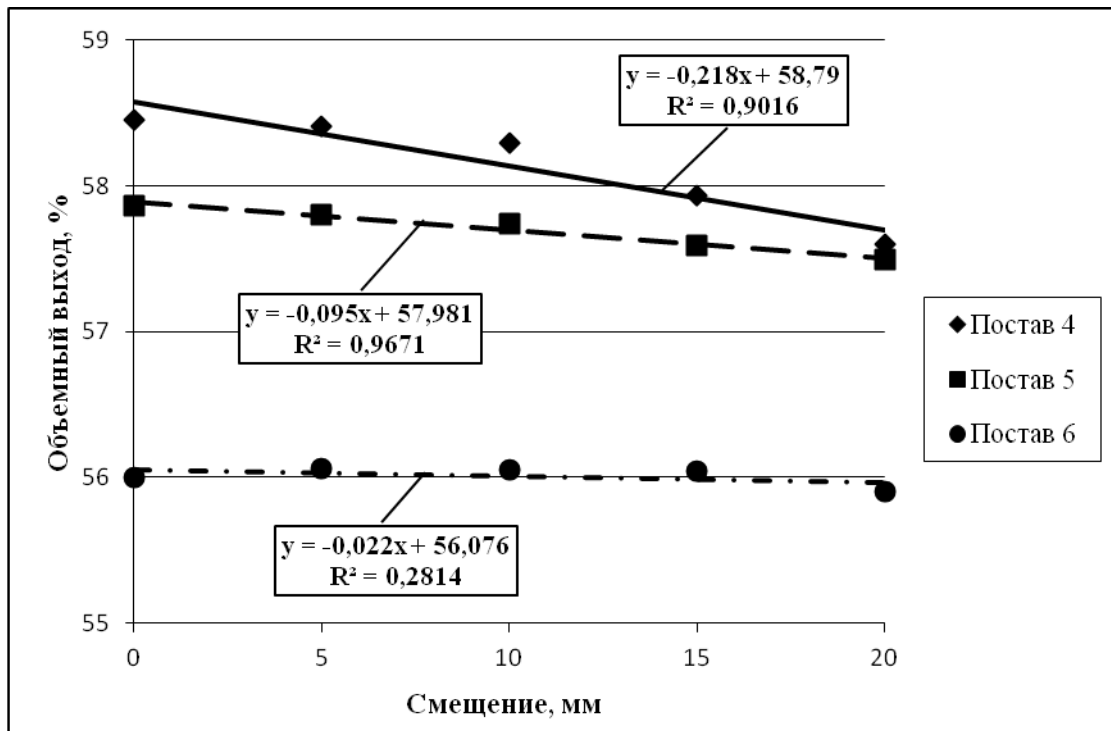


Рисунок 5.50 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 15 мм

Таблица 5.26 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	25,0	24,6	20,6	57,99	57,67	55,98
5	25,7	24,5	20,5	58,05	57,65	55,96
10	25,2	24,4	20,5	57,84	57,59	55,93
15	24,1	23,2	21,0	57,57	57,41	55,99
20	23,4	23,1	20,8	57,24	57,33	55,94

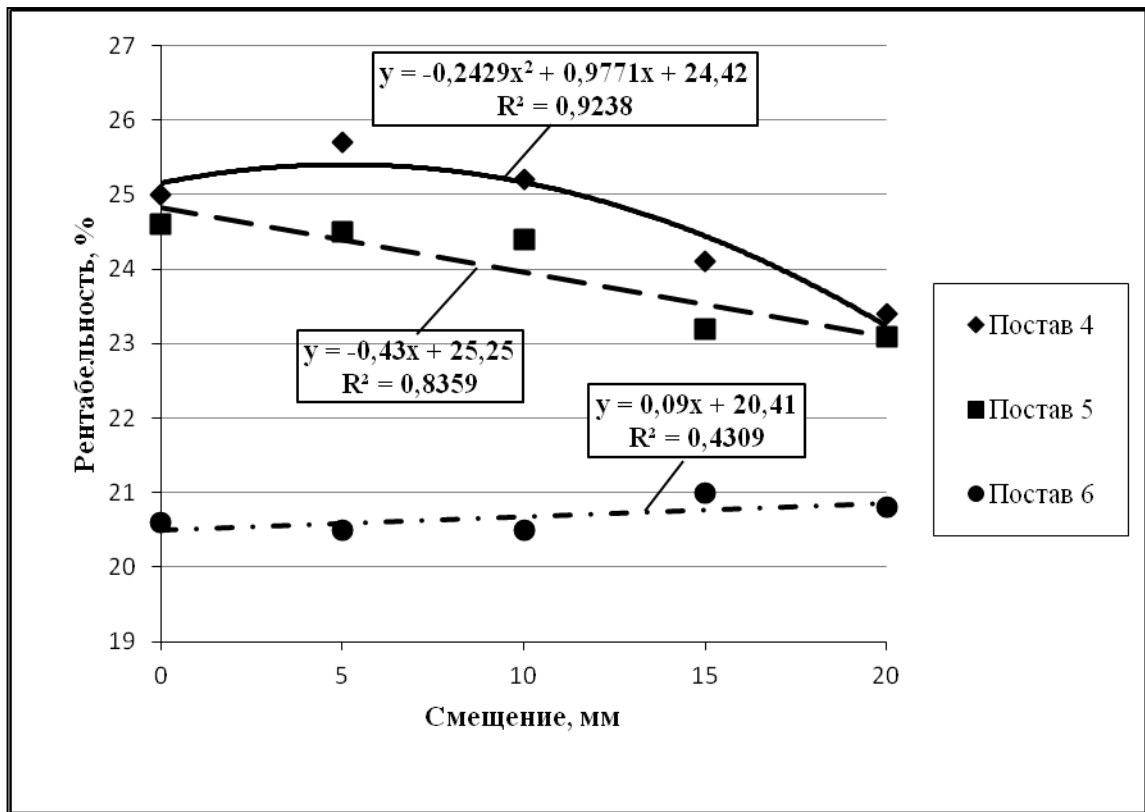


Рисунок 5.51 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

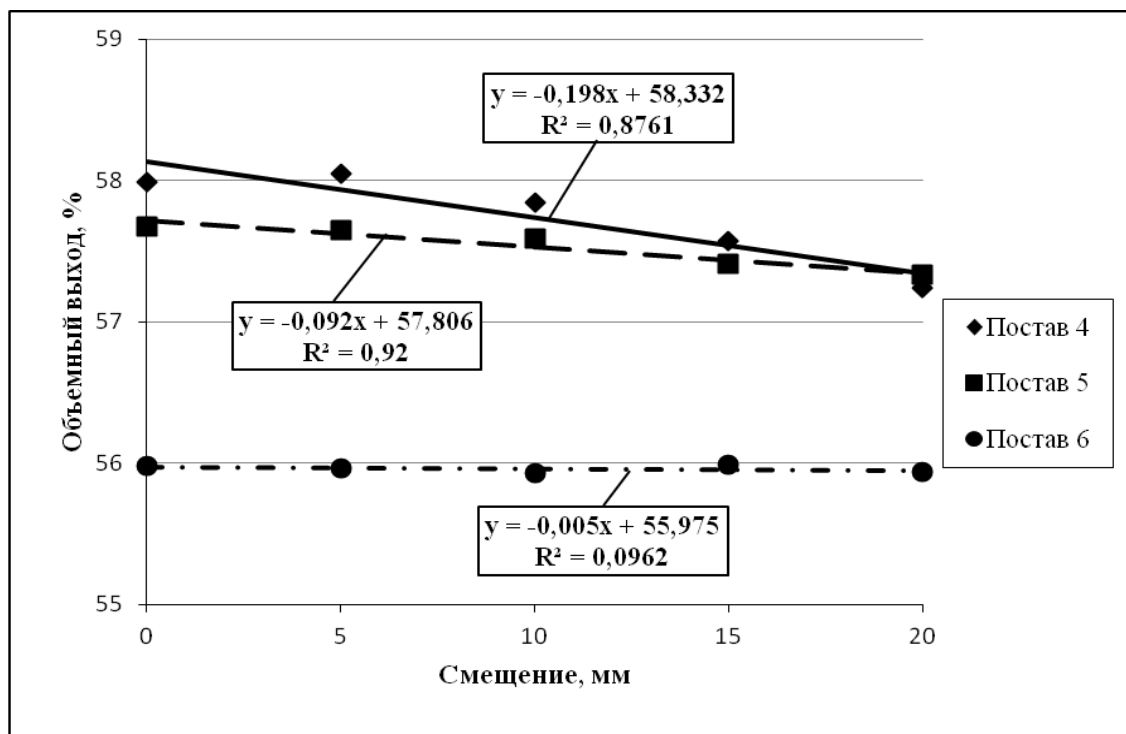


Рисунок 5.52 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 20 мм

Таблица 5.27 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,7	25,2	21,4	57,39	57,44	55,93
5	25,8	25,1	21,4	57,55	57,42	55,9
10	25,5	25,2	21,3	57,43	57,44	55,85
15	25,2	25,1	21,2	57,3	57,42	55,82
20	23,5	23,7	21,9	56,85	57,24	55,92

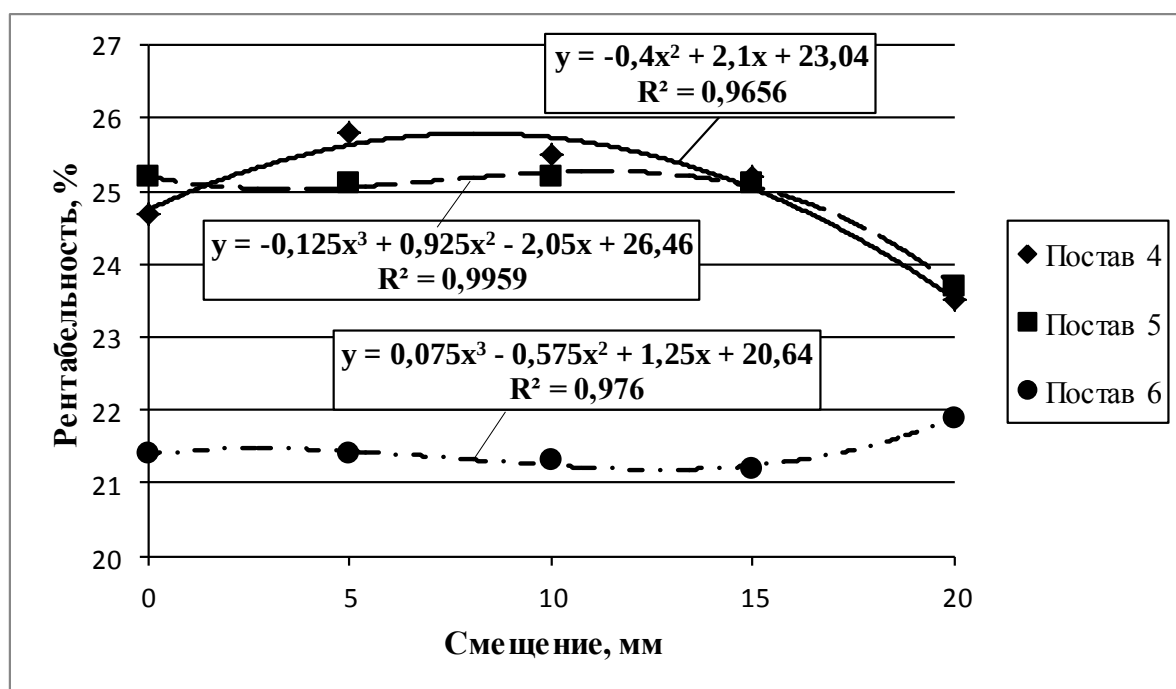


Рисунок 5.53 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

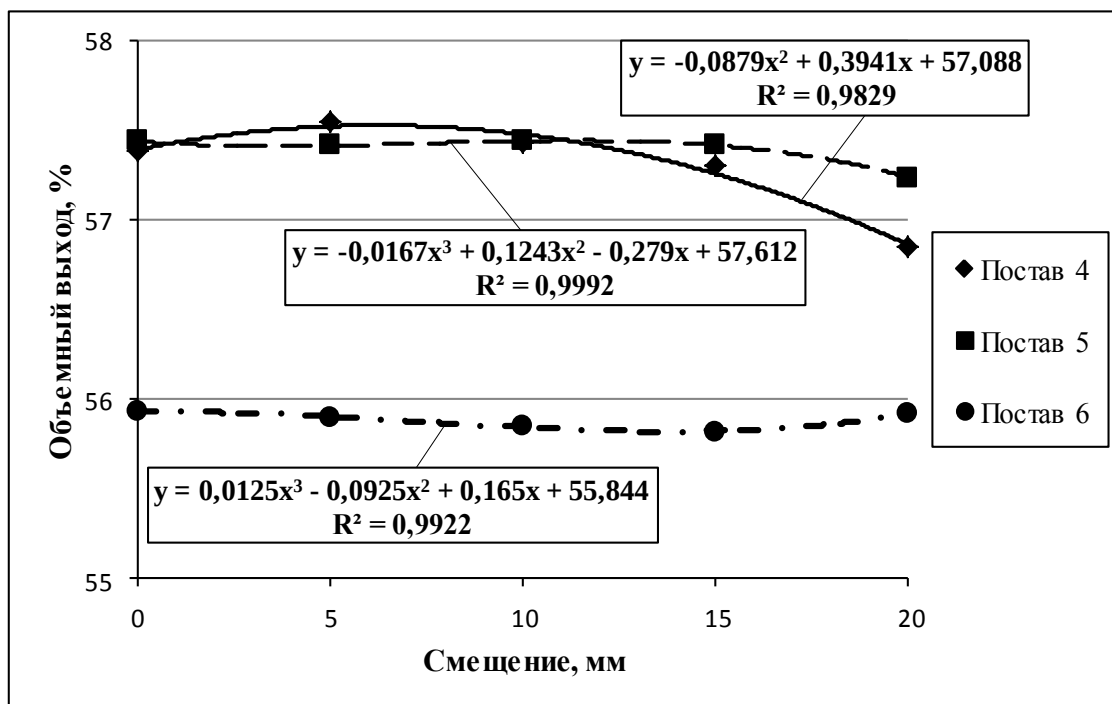


Рисунок 5.54 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 25 мм

Таблица 5.28 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства с учётом случайного смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

Смещение, мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
0	24,3	25,7	21,8	56,89	57,33	55,77
5	24,4	25,7	21,9	56,93	57,33	55,84
10	25,6	25,7	21,8	57,08	57,3	55,79
15	25,3	25,7	21,8	56,96	57,3	55,79
20	23,6	24,2	22,5	56,55	57,17	55,87

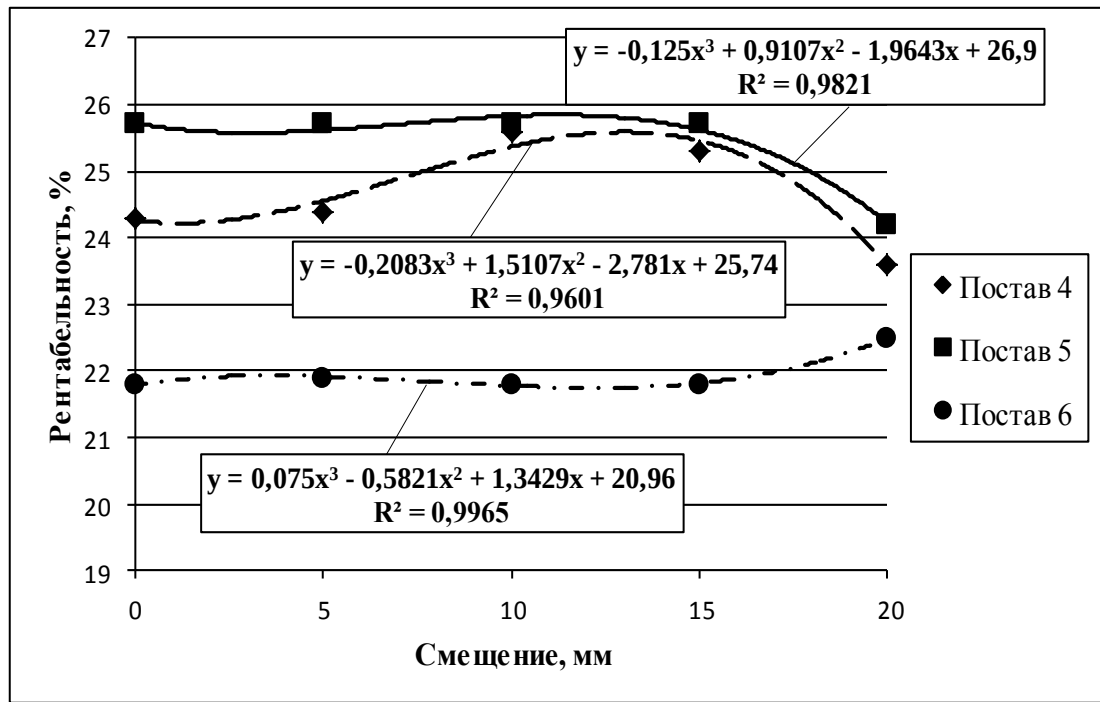


Рисунок 5.55 – Зависимость рентабельности от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

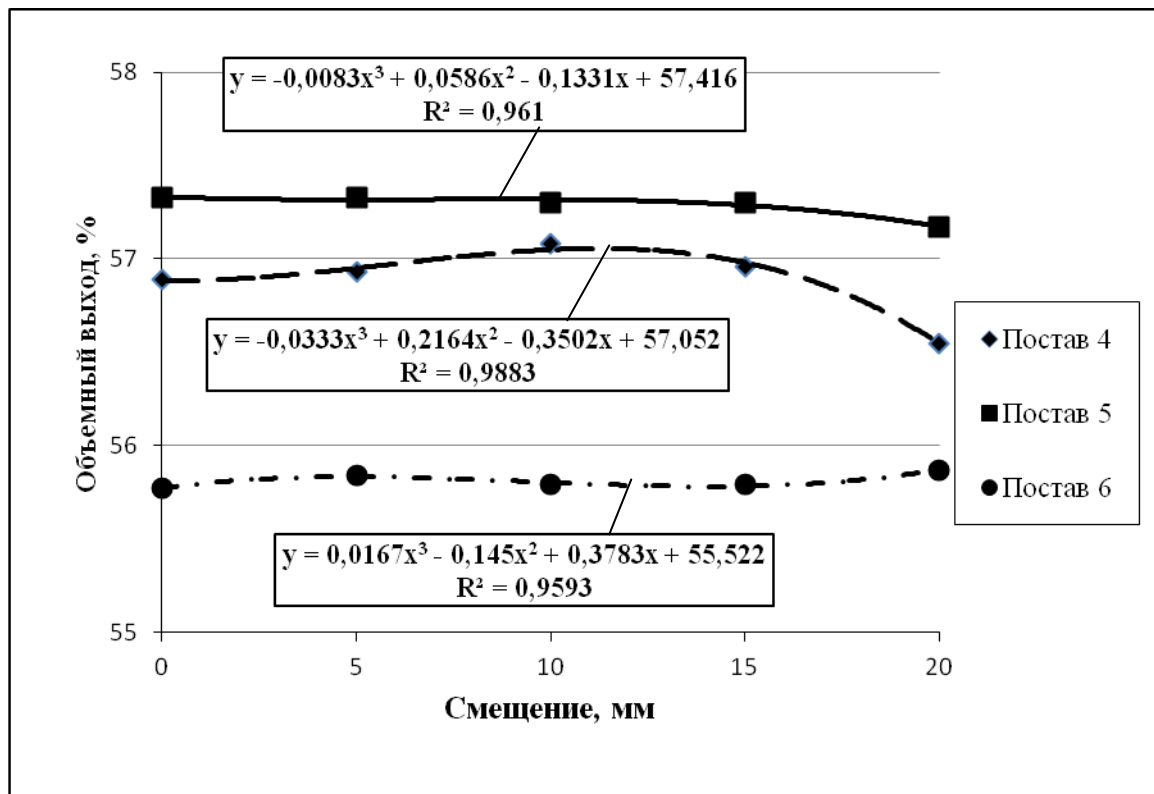


Рисунок 5.56 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от смещения брёвен и брусьев при амплитуде варьирования толщины бревна 30 мм

Из рисунков 5.44, 5.46, 5.48, 5.50, 5.52, 5.54, 5.56 видно, что снижение объёмного выхода досок из брёвен 22 см/5,5 м при увеличении случайного поперечного смещения брёвен и брусьев относительно центра постола пил описывается либо линейной моделью, либо полиномом второй или третьей степени (с достаточно высокими коэффициентами детерминации - от 0,876 до 0,999).

Исключение составляют графики для постола № 6 при амплитудах варьирования толщин брёвен 15 мм и 20 мм, для которых коэффициенты детерминации соответственно равны 0,281 и 0,096. Однако эти коэффициенты указывают не на низкое качество модели, а на слабость самой зависимости. Такое возможно, когда случайное поперечное смещение бревна относительно центра постола пил приводит к укорочению крайней боковой доски с одной стороны и к удлинению крайней боковой доски с другой стороны постола на одинаковое количество градаций по длине досок.

Степень снижения объёмного выхода от смещения брёвен и брусьев зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии от постола пил. При изменении максимального значения смещения от 0 до 20 мм объёмный выход для постола №4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 2,5 мм на 1,99 %, для постола № 5 – на 1,01 %, а для постола № 6 – на 1,22 %. При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение объёмного выхода составляет соответственно 0,34: 0,16: 0,10 %.

Нетрудно видеть, что точность базирования брёвен и брусьев при распиловке довольно ощутимо влияет на объёмный выход пиломатериалов (на 1...2 %) при высокой точности подбора брёвен по толщинам (от $\pm 2,5$ мм до ± 10 мм), при достаточно большой амплитуде смещения брёвен и брусьев относительно центра постола пил (± 20 мм) и при использовании оптимального постола (№ 4). При реальных в настоящее время условиях: сортировка брёвен по двум чётным диаметрам, использование оптимальных

и рациональных поставов, базирование брёвен и брусьев с точностью ± 10 мм объёмный выход пиломатериалов снижается на 0,05...0,15 %.

Таким образом, чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине перед распиловкой, тем сильнее случайное смещение брёвен и брусьев снижает объёмный выход пиломатериалов. Такая же закономерность была установлена выше относительно влияния эллиптичности и кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов.

Из рисунков 5.43, 5.45, 5.47, 5.49, 5.51, 5.53, 5.55 видно, что снижение рентабельности производства пиломатериалов также, как и объёмного выхода при увеличении смещения описывается либо линейной моделью, либо полиномом второй или третьей степени (с коэффициентами детерминации - от 0,835 до 0,996).

Исключение составляют графики для постава № 6 при амплитудах варьирования толщин брёвен 15 мм и 20 мм, для которых коэффициенты детерминации соответственно равны 0,409 и 0,430. Как уже отмечалось выше, эти коэффициенты указывают не на низкое качество модели, а на слабость самой зависимости.

Степень влияния смещения на рентабельность зависит от амплитуды варьирования толщин брёвен в распиловочной партии и от постава пил. При изменении амплитуды смещения от 0 до 20 мм рентабельность для постава № 4 снижается при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 2,5 мм на 3,4 %, для постава № 5 – на 1,9 %, а для постава № 6 – на 2,0 %. При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение рентабельности составляет соответственно 0,7; 1,5; 0,7 %. При реальных в настоящее время условиях: сортировка брёвен по двум чётным диаметрам, использование оптимальных и рациональных поставов, базирование брёвен и брусьев с точностью ± 10 мм рентабельность снижается на 0,1...0,2 %.

Следует отметить, что точность базирования брёвен и брусьев, достижимая на современном оборудовании, влияет на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства во много раз слабее, чем

эллиптичность и кривизна брёвен. Исключение составляет сверхточный (чисто теоретический) подбор брёвен по диаметрам – $\pm 2,5$ мм, при котором поперечное смещение брёвен и брусьев может снижать объёмный выход и рентабельность соответственно до 2 и 3,4 %.

Сравнивая закономерности снижения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства, обусловленные смещением брёвен, видим, что они также схожи, как и обусловленные кривизной и эллиптичностью. Объясняется это тем, что смещение так же, как кривизна и эллиптичность снижает рентабельность только через снижение объёмного выхода пиломатериалов.

5.6 Рейтинг причин отклонения фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного значения

Многолетний опыт лесопиления показывает, что фактический объёмный выход пиломатериалов весьма существенно отличается от расчётного объёмного выхода. Для номинальной толщины бревна 22 см, являющейся средней по отрасли при массовой крупно-поточной распиловке, фактический объёмный выход ниже расчётного примерно на 10 %.

Имитационные исследования зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от вероятностных характеристик брёвен и процессов их раскроя позволяют определить следующие причины и величины снижения объёмного выхода пиломатериалов.

Постав № 4 с теоретическим объёмным выходом 60,21 %:

- сортировка по толщине бревна – 2,11 %; таблица 4.2;
- эллиптичность бревна – 0,93 %; таблица 5.5;
- кривизна бревна – 6,36 %; таблица 5.12;
- базирование бревна – 0,15 %; таблица 5.26.
- арифметическая сумма влияний – 9.55 %;

- геометрическая сумма влияний – 6,77 %.

Постав № 6 с теоретическим объёмным выходом 57,04 %:

- сортировка по толщине бревна – 1,32 %; таблица 4,2;

- эллиптичность бревна – 1,13 %; таблица 5.5;

- кривизна бревна – 4,05 %; таблица 5.12;

- базирование бревна – 0,05 %; таблица 5.26.

- арифметическая сумма влияний – 6,55 %;

- геометрическая сумма влияний – 4,41 %.

Вклад варьирования толщины бревна в распиловочной партии оценивается при переходе от точности сортировки по толщине $\pm 2,5$ мм к точности ± 20 мм, вклад эллиптичности оценивается при её варьировании в пределах 0...12 мм со средним значением 6 мм, вклад кривизны – при её варьировании в пределах 0...0,5 % со средним значением 0,25 % с экстраполированием до 0...1,5 % со средним значением 0,75 %, вклад погрешности базирования бревна - при её варьировании в пределах ± 10 мм.

При одновременном влиянии перечисленных характеристик происходит сложное их взаимодействие: влияния эллиптичности и кривизны суммируются (п. 5.4); влияние дробности сортировки ослабляется первыми двумя влияниями (п. 6.1, п. 6.2); влияние смещения бревна при взаимодействии с дробностью сортировки усиливается (п. 6.5). В результате имитационных исследований процесса распиловки брёвен на пиломатериалы с одновременным учётом всех перечисленных выше характеристик, но без введения экстраполяции по кривизне, получаем (п. 6.5) объёмный выход для поставы № 4 – 54,81 %, а для поставы № 6 – 53,27 %. При арифметическом суммировании отдельных влияний получаем соответственно 54,90 % и 53,19 %. При геометрическом суммировании отдельных влияний получаем соответственно 57,08 % и 54,84 %. Видим, что наибольшее совпадение между суммой отдельных влияний и одновременным влиянием рассмотренных характеристик даёт арифметическое суммирование.

Таким образом, рейтинг причин отклонения «в минус» фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного значения с учётом эффективности поставов имеет 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 %.

Следует отметить, что данный список не исчерпывает всех причин снижения объёмного выхода пиломатериалов. В частности, не исследуются вопросы качества древесины. Не рассматривается вопрос минимальной длины пиломатериалов.

Исследования показывают, что случайные характеристики брёвен и процессов их раскря снижают объёмный выход пиломатериалов тем сильнее, чем эффективнее постав. Так, при использовании оптимального постава №4 объёмный выход снижается на 9,55 %, а при использовании постава № 6 – на 6,55 %. То есть, лучший постав подвергается отрицательному влиянию случайных характеристик брёвен и процессов их раскря в 1,5 раза сильнее, чем худший постав. В результате оптимальные поставки приближаются по объёмному выходу к рациональным поставам. Разность между расчётными объёмными выходами постава № 4 (оптимальный) и постава № 6 (рациональный) составляет $60,21 - 57,04 = 3,17$ %, а разность между объёмными выходами этих же поставов с учётом случайных характеристик брёвен и процессов их раскря составляет $50,66 - 50,49 = 0,17$ %. Происходит выравнивание поставов в сторону менее эффективных.

Таким образом, при распиловке брёвен с существенными дефектами формы оптимизация поставов с целью максимизации объёмного выхода не имеет смысла.

5.7 Выводы

Исследования зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от вероятностных характеристик формы брёвна и его ориентации относительно постава пил позволяют сделать следующие выводы.

1. Снижение объёмного выхода пиломатериалов от эллиптичности брёвен размерами 22 см / 5,5 м следует признать существенным. При изменении средней эллиптичности от 0 до 6 мм объёмный выход снижается примерно на 0,8...1,2 %.

2. Рентабельность производства пиломатериалов довольно сильно зависит от эллиптичности брёвен размерами 22 см / 5,5 м. При изменении средней эллиптичности от 0 до 6 мм рентабельность снижается на 0,8 - 2,3 %.

3. Снижение объёмного выхода пиломатериалов от кривизны брёвен размерами 22 см / 5,5 м следует признать весьма значительным. При изменении средней кривизны от 0 до 0,25 % (с размахом колебаний от 0 до 0,50 %) объёмный выход снижается на 1,2...2,9 %. Если учесть, что реальная средняя кривизна пиловочных брёвен достигает 0,75 % (с размахом колебаний от 0 до 1,5 %), то можно ожидать снижение объёмного выхода на 3,6...8,7 %.

4. Рентабельность производства пиломатериалов очень сильно зависит от кривизны брёвен размерами 22 см / 5,5 м. При изменении средней кривизны от 0 до 0,25 % рентабельность снижается на 2,7...5,8 %.

5. Объёмный выход досок из брёвен 22 см / 5,5 м со средней эллиптичностью 6 мм при амплитуде варьирования толщин брёвен в распиловочной партии 2,5 мм снижается при увеличении кривизны от 0 до 0,25 % на 2,1...2,8 % (на 1,8...2,9 % - без учёта эллиптичности). При амплитуде варьирования толщин брёвен 30 мм снижение объёмного выхода составляет 1,3...1,7 % (1,2...1,8 % - без учёта эллиптичности).

6. Чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине в распиловочной партии, тем сильнее кривизна (с учётом и без учёта эллиптичности) снижает объёмный выход.

7. Дополнительный учёт случайной эллиптичности брёвен со средним значением 6 мм не оказывает существенного влияния на характер зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от кривизны брёвен. Наличие эллиптичности снижает объёмный выход на 0,6...1,3 %, а рентабельность - на 1,1...2,7 % при всех рассмотренных значениях кривизны, «опуская» графики исследуемых зависимостей вниз, существенно не изменяя углов их наклона.

8. Сравнение зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от эллиптичности и кривизны брёвен сначала по отдельности, а затем вместе, показывает, что наблюдается простое суммирование их влияний без существенных парных взаимно усиливающих или взаимно ослабляющих взаимодействий.

9. Точность базирования брёвен и брусьев при распиловке довольно ощутимо влияет на объёмный выход пиломатериалов (на 1...2 %) при высокой точности подбора брёвен по толщинам (от $\pm 2,5$ мм до ± 10 мм), при достаточно большой амплитуде смещения брёвен и брусьев относительно центра постава пил (± 20 мм) и при использовании оптимального постава. При реальных в настоящее время условиях: сортировка брёвен по двум чётным диаметрам, использование оптимальных и рациональных поставов, базирование брёвен и брусьев с точностью ± 10 мм объёмный выход пиломатериалов снижается на 0,05...0,15 %.

10. Чем эффективнее постав и чем выше точность подбора брёвен по толщине перед распиловкой, тем сильнее случайное смещение брёвен и брусьев снижает объёмный выход пиломатериалов.

11. Рентабельность производства пиломатериалов довольно слабо зависит от смещения брёвен размерами 22 см / 5,5 м. При реальных в

настоящее время условиях рентабельность из-за самопроизвольного смещения брёвен и брусьев снижается на 0,1...0,2 %.

12. Точность базирования брёвен и брусьев, достижимая на современном оборудовании, влияет на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства во много раз слабее, чем эллиптичность и кривизна брёвен. Исключение составляет сверхточный (чисто теоретический) подбор брёвен по диаметрам – $\pm 2,5$ мм, при котором поперечное смещение брёвен и брусьев может снижать объёмный выход и рентабельность соответственно до 2 и 3,4 %.

13. Случайные характеристики брёвен и процессов их раскроя снижают объёмный выход пиломатериалов тем сильнее, чем эффективнее постав. Оптимальный постав, например, для брёвен толщиной 22 см подвергается отрицательному влиянию случайных характеристик брёвен и процессов их раскроя в 1,5 раза сильнее, чем рациональные поставки. В результате оптимальный постав приближается по объёмному выходу к рациональным поставкам. Происходит выравнивание поставов в сторону менее эффективных.

Таким образом, при распиловке брёвен с существенными дефектами формы оптимизация поставов с целью максимизации объёмного выхода не имеет смысла.

14. Рейтинг причин отклонения «в минус» фактического объёмного выхода пиломатериалов от расчётного значения с учётом эффективности поставов для брёвен толщиной 22 см имеет 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 %.

15. В следующем разделе диссертации необходимо исследовать влияние вероятностных характеристик формы бревна и его ориентации относительно постава пил на зависимость рентабельности производства

пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен, которая используется в качестве целевой функции при поиске оптимальной дробности сортировки брёвен по диаметрам.

6 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом случайной их формы и ориентации относительно постова пил

В четвёртом разделе диссертации исследуется влияние варьирования толщины брёвен в распиловочной партии, а, следовательно, и дробности сортировки брёвен по толщине, на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства. Для сокращения практически необозримого количества комбинаций переменных величин исследования проводятся без учёта случайной изменчивости формы бревна и его ориентации относительно постова пил. В данном разделе исследуется влияние неучтённых в четвёртом разделе эллиптичности и кривизны брёвен, а также их точности базирования на закономерности изменения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства с оценкой и уточнением сделанных выводов. Проводятся имитационные исследования процесса раскроя брёвен размерами 22 см/5,5 м постовами № 4: 25 - 150 - 25; 25 - 50/3 - 25, обеспечивающего теоретический максимальный объёмный выход 60,21 %; № 5: 25/2 - 100 - 25/2; 25 - 50/3 - 25 с теоретическим максимальным объёмным выходом 58,51 %; № 6: 25/2 - 100 - 25/2; 25/3 - 50 - 25/3 с теоретическим максимальным объёмным выходом 57,04 %, при длине досок 1,5...6,3 м с градацией 0,3 м, при доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,8, при постоянной базовой себестоимости и при базовой рентабельности 25 %. В некоторых исследованиях используется только оптимальный постав № 4.

6.1 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их эллиптичности

Результаты исследований представлены в таблицах 6.1...6.3 и на рисунках 6.1...6.6.

Таблица 6.1 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при различной амплитуде (ddmax) варьирования толщины брёвен и средней эллиптичности 4 мм

ddmax мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	2,0	-0,6	-3,0	59,62	58,12	56,72
5	15,2	12,4	9,4	59,39	57,95	56,43
10	21,3	19,4	15,5	58,35	57,40	55,64
15	23,5	21,6	17,5	57,83	57,03	55,25
20	24,4	23,5	19,0	57,46	56,94	55,24
25	24,3	23,6	19,8	56,87	56,74	55,17
30	23,0	24,2	20,5	56,28	56,66	55,16

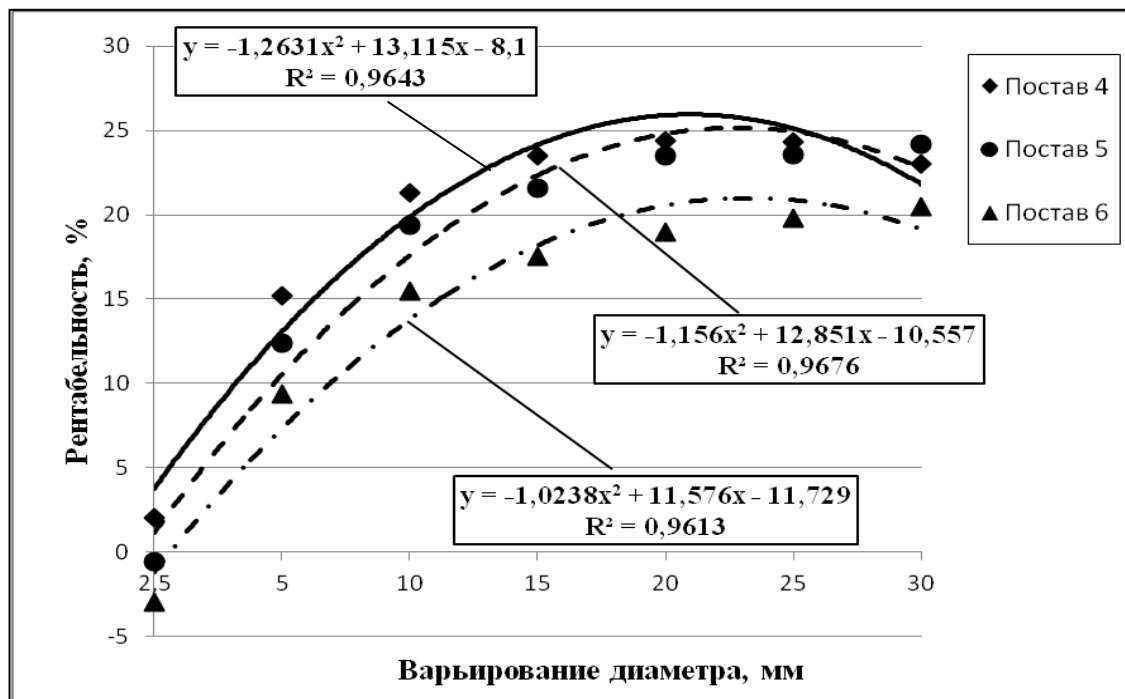


Рисунок 6.1 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 4 мм

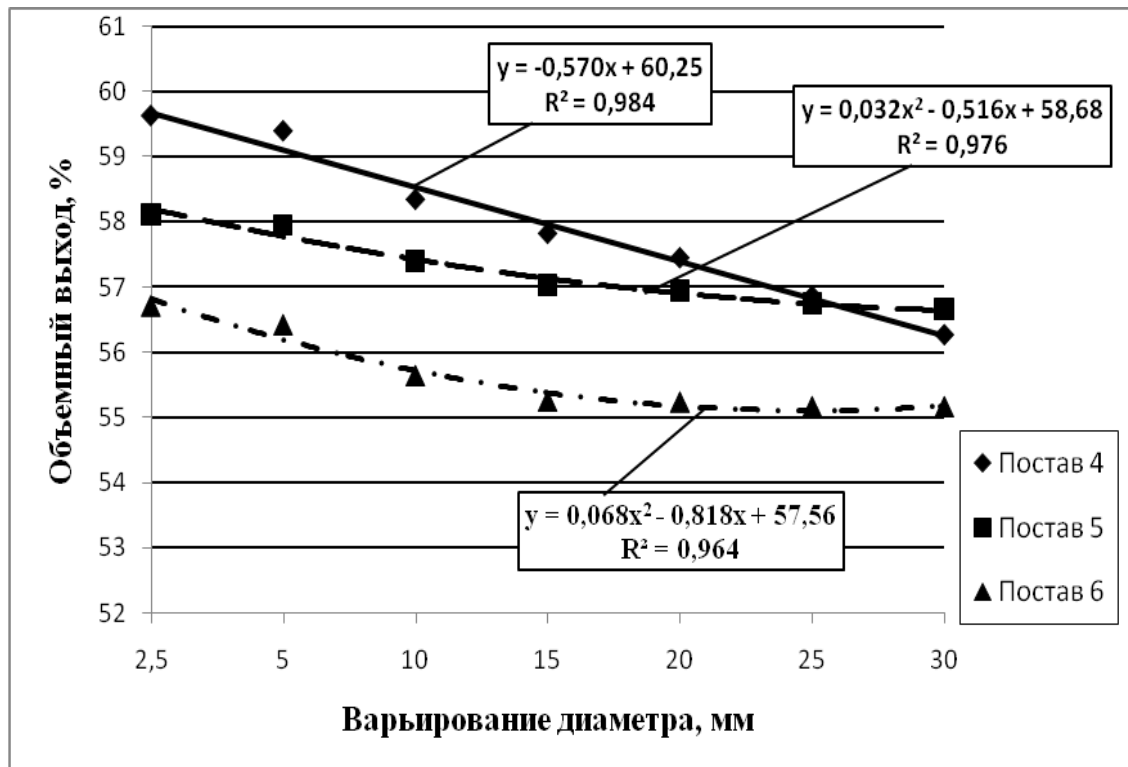


Рисунок 6.2 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 4 мм

Таблица 6.2 – Объемный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней эллиптичности 6 мм

ddmax мм	Рентабельность, %			Объемный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	1,4	-1,1	-3,8	59,32	57,82	56,29
5	14,4	11,6	8,2	59,00	57,54	55,85
10	20,5	18,5	14,7	57,99	56,96	55,22
15	22,4	20,6	16,7	57,47	56,56	54,84
20	23,6	22,5	18,1	57,07	56,51	54,85
25	23,5	22,9	19,1	56,50	56,40	54,84
30	23,5	23,6	19,7	56,12	56,26	54,83

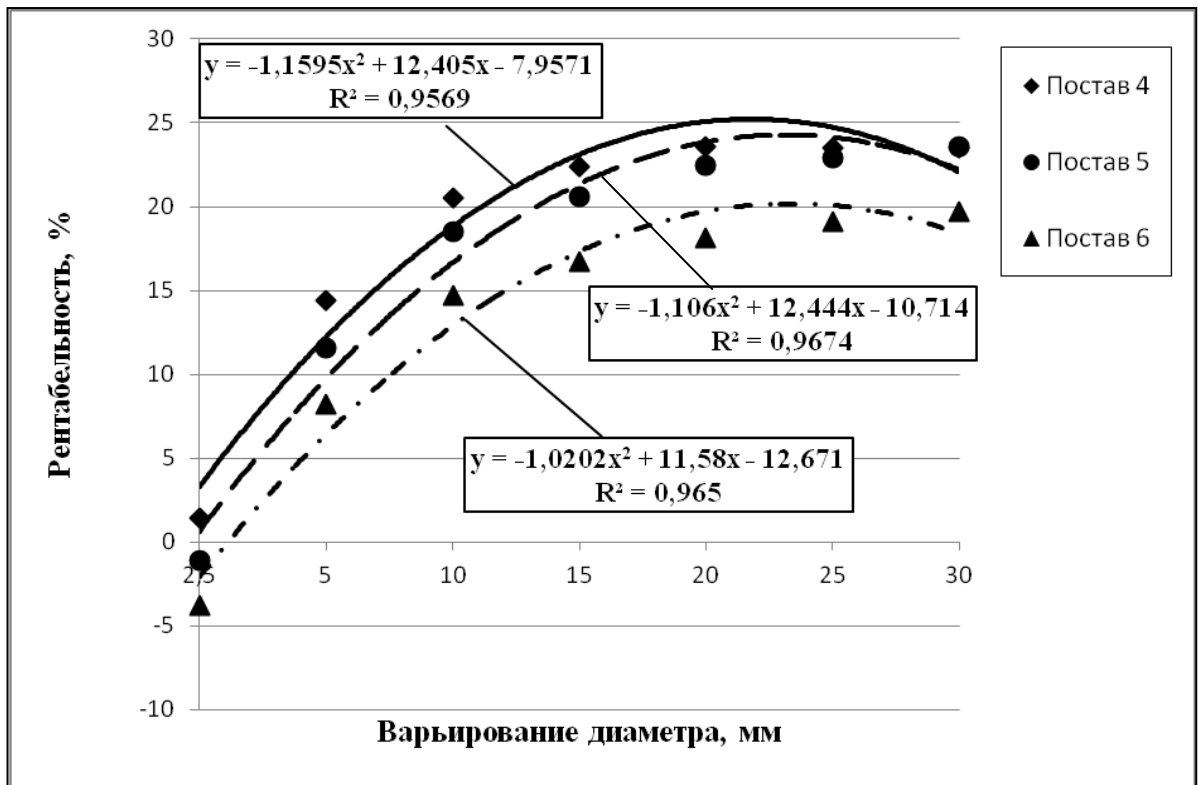


Рисунок 6.3 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм

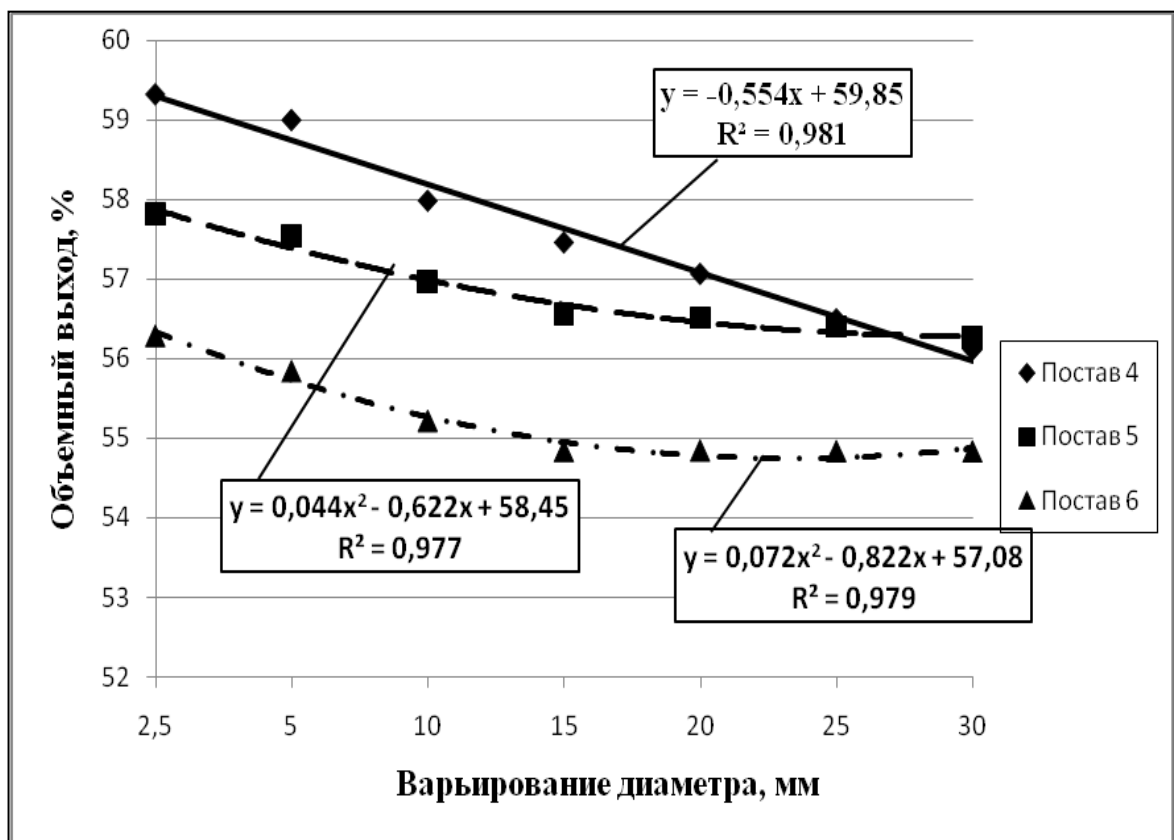


Рисунок 6.4 – Зависимость объемного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм

Таблица 6.3 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней эллиптичности 8 мм

ddmax мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	0,8	-1,7	-4,8	58,97	57,46	55,71
5	13,5	10,7	7	58,52	57,09	55,22
10	19,7	17,4	13,6	57,57	56,45	54,69
15	21,6	19,5	15,7	57,05	56,05	54,41
20	22,6	21,2	17,3	56,64	56,09	54,43
25	22,7	22	18,3	56,16	56,00	54,47
30	22,7	22,9	19	55,74	56,04	54,50

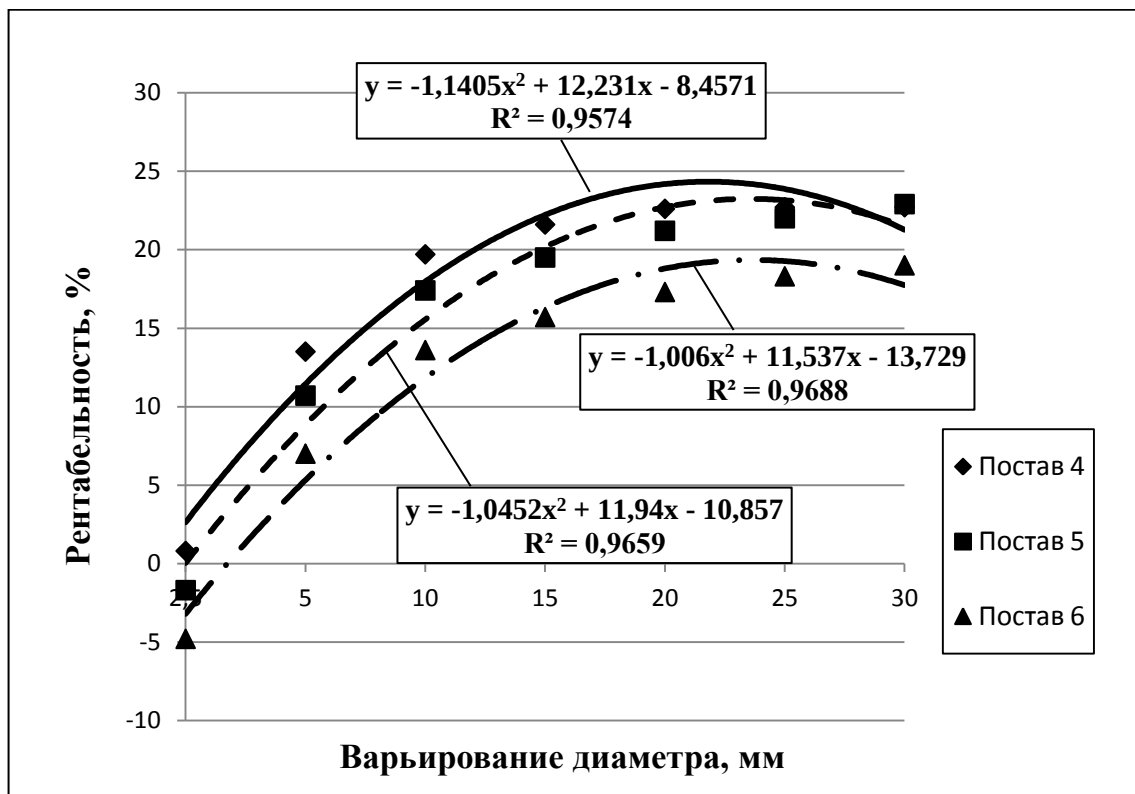


Рисунок 6.5 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 8 мм

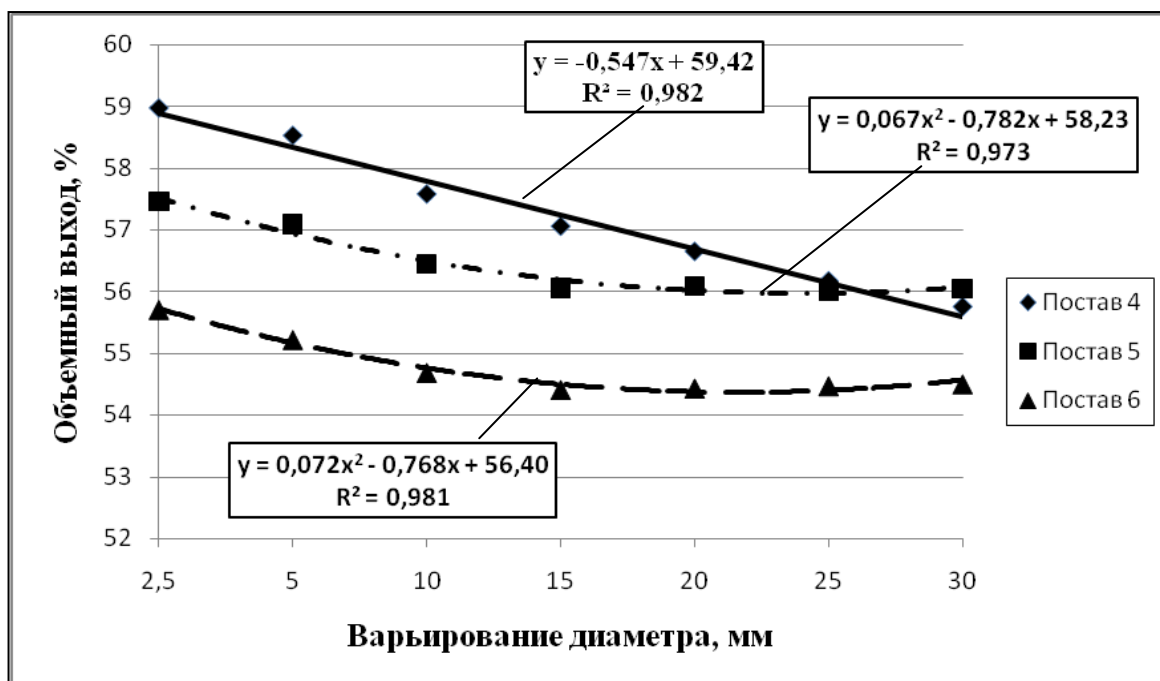


Рисунок 6.6 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 8 мм

Из рисунков 6.2, 6.4, 6.6 видно, что зависимости объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен имеют линейный или квадратичный характер с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,964...0,984). При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм объёмный выход снижается для постава № 4 при эллиптичности 0, 4, 6, 8 мм соответственно на 2,03; 1,93; 1,93; 1,88 %; для постава № 5 – на 0,97; 1,01; 1,03; 1,00 %; для постава № 6 – на 1,26; 1,19; 1,00, 0,79 %. Сравнивая приращения объёмного выхода пиломатериалов, видим, что на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен существенное влияние оказывает структура и эффективность постава (0,93...1,09 %) и менее существенное влияние (в 2 и более раза) оказывает эллиптичность брёвен (до 0,47 %). С увеличением эллиптичности брёвен объёмный выход пиломатериалов снижается почти равномерно при всех значениях амплитуды варьирования толщины брёвен. При этом графики опускаются вниз практически поступательно, лишь с некоторым уменьшением углов наклона

(-0,570; -0,554; -0,547 – рисунки 6.2, 6.4, 6.6; постав № 4). Это указывает на то, что эллиптичность брёвен несколько снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине (до 0,26 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм при эллиптичности 6 мм). Здесь и далее под чувствительностью понимается приращение объёмного выхода пиломатериалов при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм.

Если учитывать, что при сравнении различных технологических операций и процессов по критерию объёмного выхода пиломатериалов разница между ними довольно часто оценивается долями одного процента, то исследование зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен следует проводить с учётом эллиптичности брёвен.

Из рисунков 6.1, 6.3, 6.5 видно, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен описываются кривыми второго порядка с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,957...0,998). Причём, характер этих зависимостей практически не зависит от эллиптичности брёвен. Так, при изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм рентабельность снижается для постав № 4 при эллиптичности 0, 4, 6, 8 мм соответственно на 8,5; 9,2; 9,2; 9,1 %, для постав № 5 – на 10,9; 11,1; 10,9; 10,5 %; для постав № 6 – на 9,7; 9,6; 9,9; 10,3 %. Так же как и объёмный выход, рентабельность при всех амплитудах варьирования толщины брёвен снижается при увеличении эллиптичности практически синхронно, поэтому графики рентабельности несколько опускаются вниз. Особенно это хорошо видно из рисунков 6.7 и 6.8 (таблица 6.4), где представлены зависимости объёмного выхода и рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен для одного (оптимального) постав № 4 и для двух крайних значений эллиптичности – 0 и 8 мм.

Таблица 6.4 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней эллиптичности 0...8 мм

Постав № 4, ddmax мм	Рентабельность, %				Объёмный выход, %			
	Эллиптичность				Эллиптичность			
	0	4	6	8	0	4	6	8
2,5	2,8	2	1,4	0,8	60,14	59,62	59,32	58,97
5	16,5	15,2	14,4	13,5	60,03	59,39	59	59,52
10	22,7	21,3	20,5	19,7	58,94	58,35	57,99	57,57
15	24,4	23,5	22,4	21,6	58,45	57,83	57,47	57,05
20	25	24,4	23,6	22,6	58	57,46	57,07	56,64
25	24,7	24,3	23,5	22,7	57,39	56,87	56,5	56,16
30	24,3	23	23,5	22,7	56,89	56,28	56,12	55,74

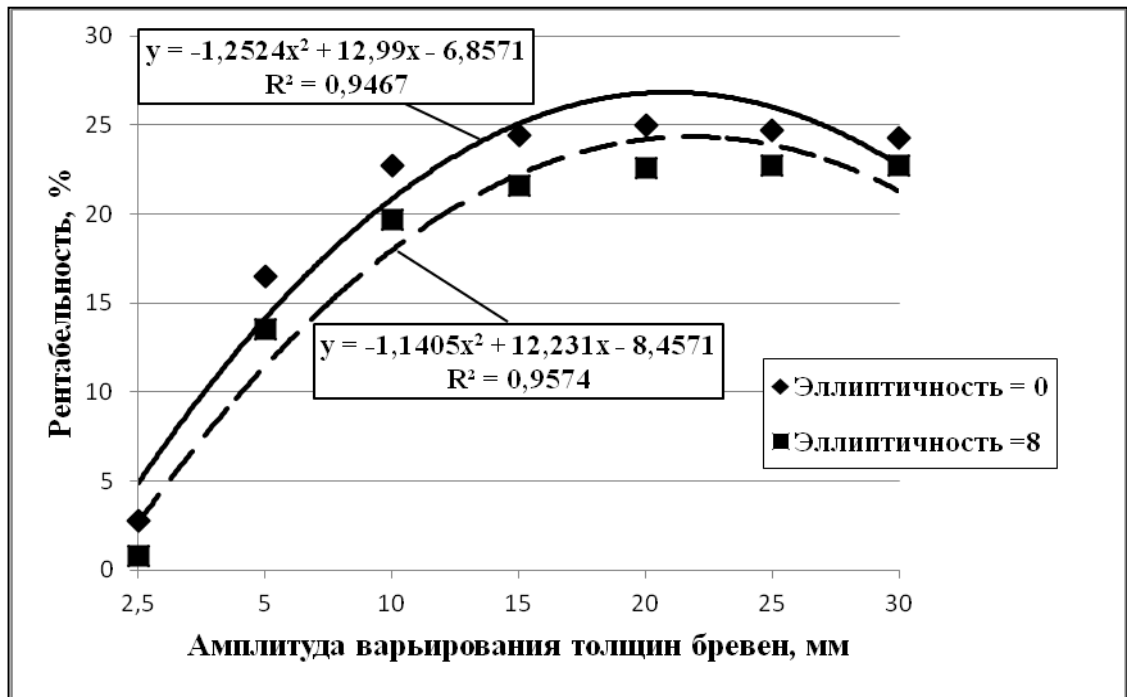


Рисунок 6.7 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщин бревна при средней эллиптичности 0; 8 мм

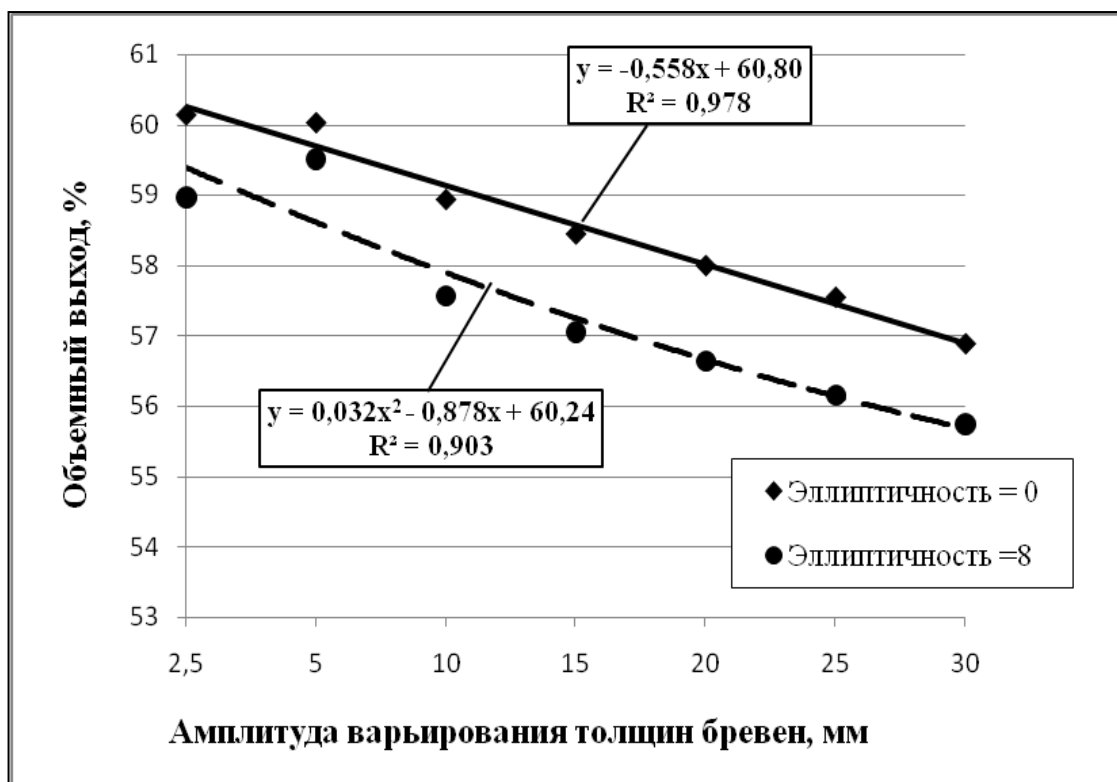


Рисунок 6.8 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 0; 8 мм

Вместе с тем, анализ таблиц 6.1...6.4 показывает, что с увеличением средней эллиптичности от 0 до 8 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).

Таким образом, исследование зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщин брёвен, также как и объёмного выхода пиломатериалов, следует проводить с учётом эллиптичности брёвен.

6.2 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их кривизны

Результаты исследований представлены в таблицах 6.5...6.9 и на рисунках 6.9...6.9.

Таблица 6.5 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней кривизне 0,05 %

ddmax мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	2,1	-0,4	-2,8	59,7	58,25	56,86
5	15,6	12,8	9,6	59,56	58,19	56,55
10	21,8	19,9	15,8	58,49	57,65	55,75
15	23,3	22,2	18,1	57,92	57,34	55,51
20	23,9	23,5	19,6	57,5	57,19	55,53
25	23,7	24,2	20,6	56,96	57,02	55,54
30	23,5	24,9	21	56,51	56,95	55,39

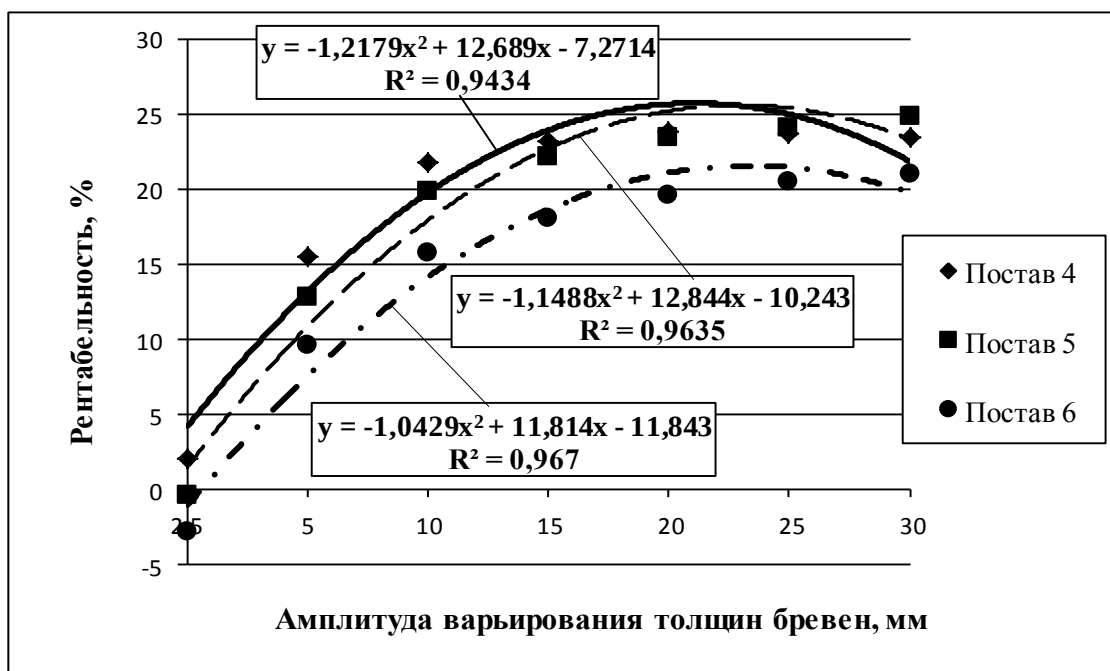


Рисунок 6.9 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,05 %

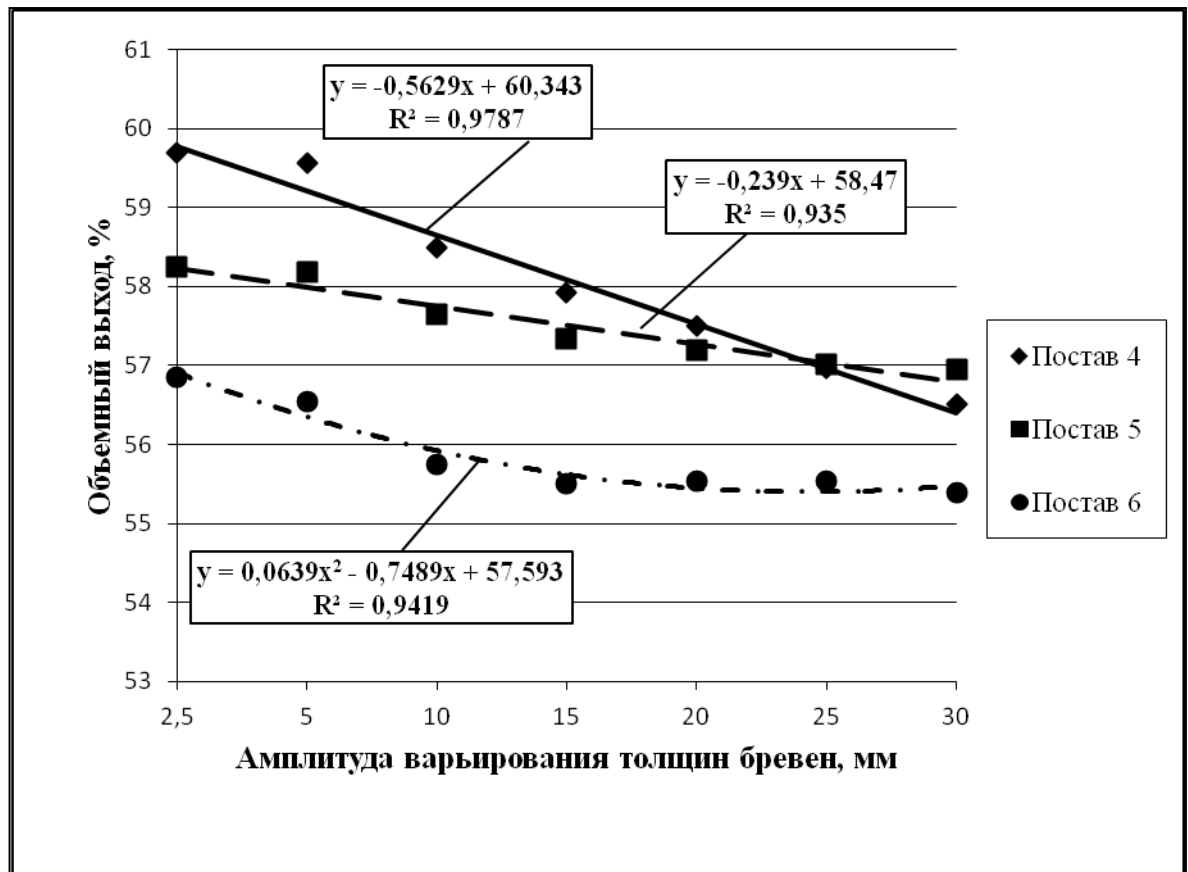


Рисунок 6.10 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,05 %

Таблица 6.6 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней кривизне 0,15 %

ddmax мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	0,3	-2,2	-5	58,63	57,204	55,579
5	13,5	10,8	7,8	58,47	57,11	55,63
10	19,4	17,6	14,4	57,37	56,56	55,09
15	21,2	20,2	16,8	56,944	56,39	54,92
20	22,2	21,9	18,4	56,69	56,41	54,98
25	22,2	22,8	19,4	56,23	56,35	54,99
30	22,2	23,6	19,9	55,9	56,36	54,9

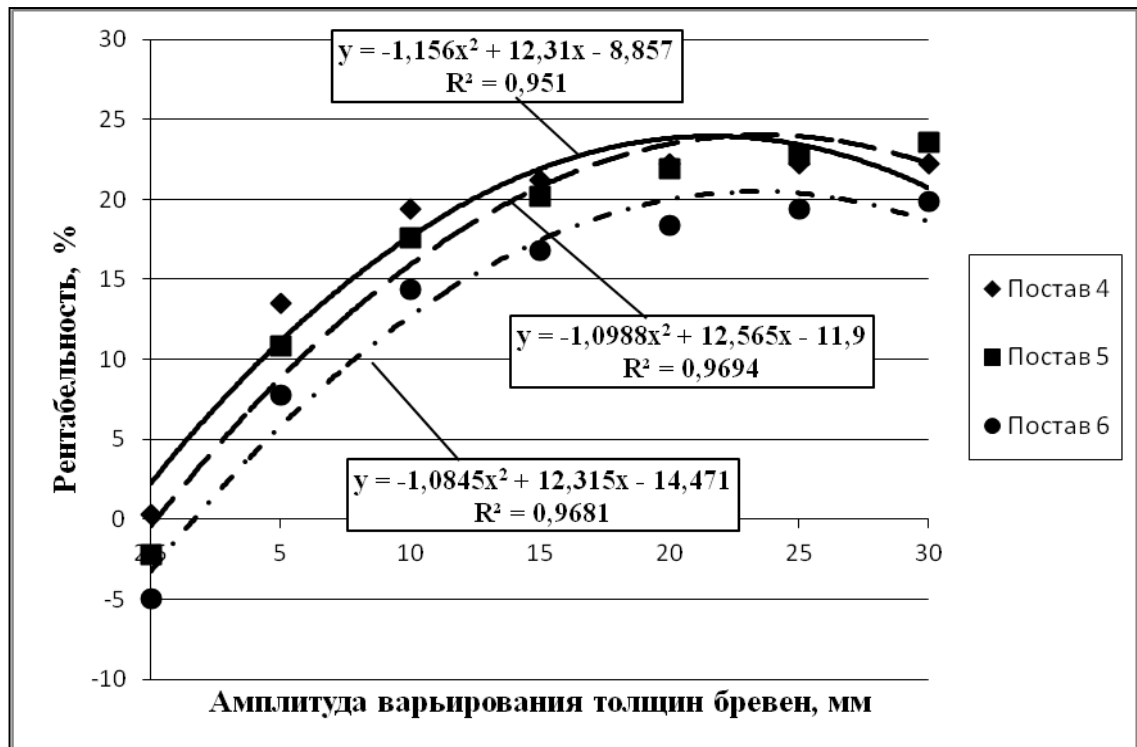


Рисунок 6.11 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,15 %

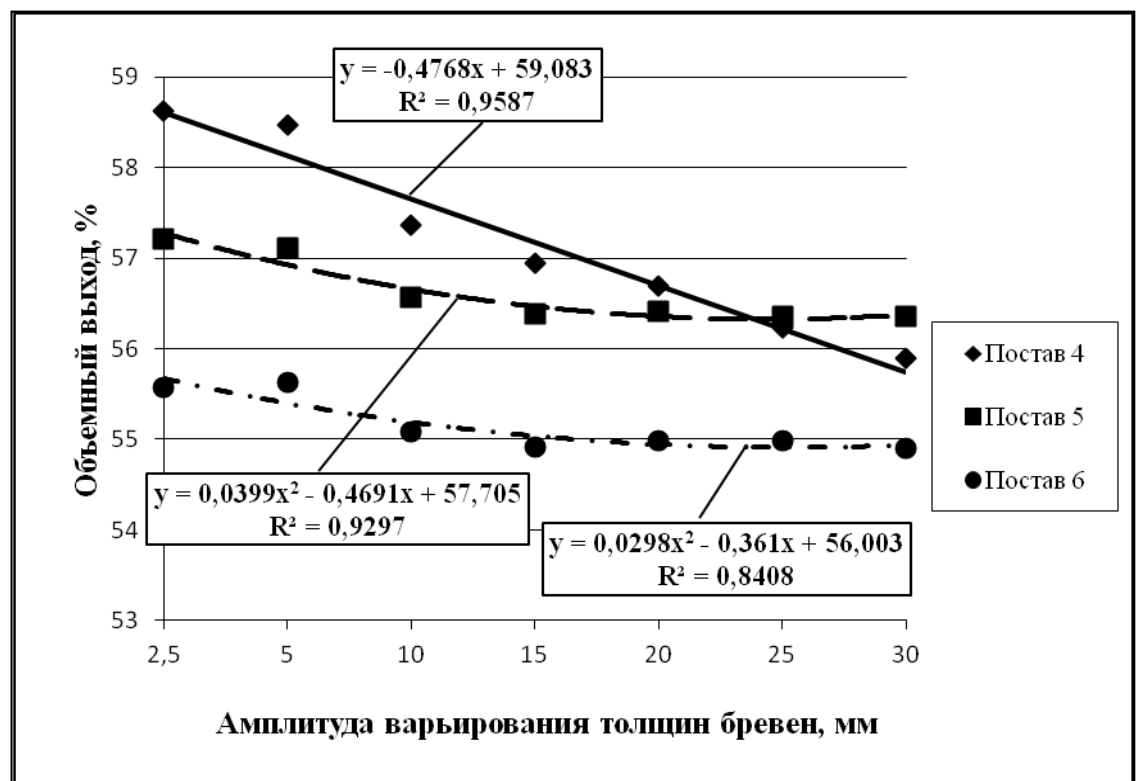


Рисунок 6.12 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,15 %

Таблица 6.7 – Объёмный выход пиломатериалов и рентабельность производства при средней кривизне 0,25 %

ddmax мм	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-2,1	-3,4	-5,2	57,234	56,46	55,45
5	10,7	9,5	7,4	57,05	56,48	55,41
10	17,2	16,5	13,5	56,32	56,05	54,68
15	19,3	19,2	16	56,04	55,897	54,54
20	20,4	20,9	17,7	55,88	55,95	54,63
25	20,5	21,9	18,6	55,44	55,95	54,64
30	20,4	22,7	19,1	55,09	55,97	54,54

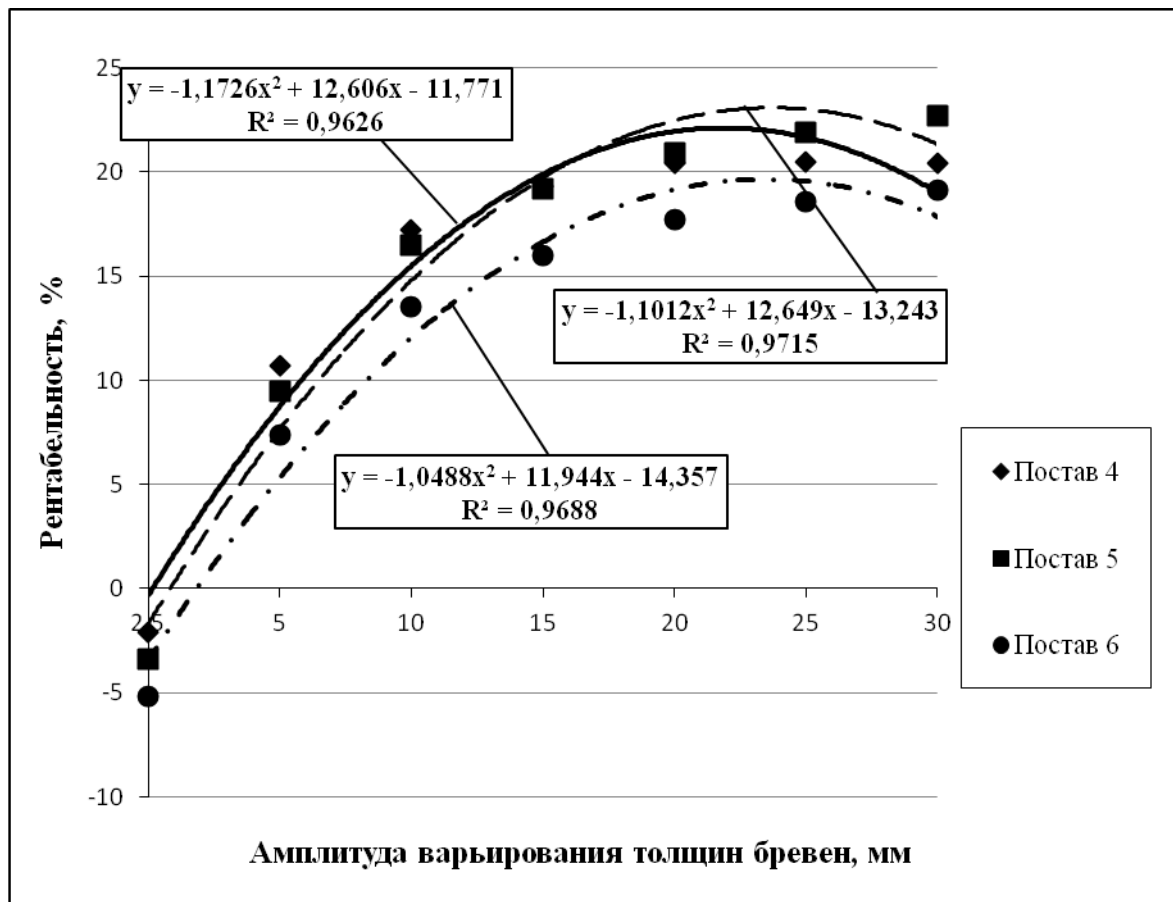


Рисунок 6.13 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,25 %

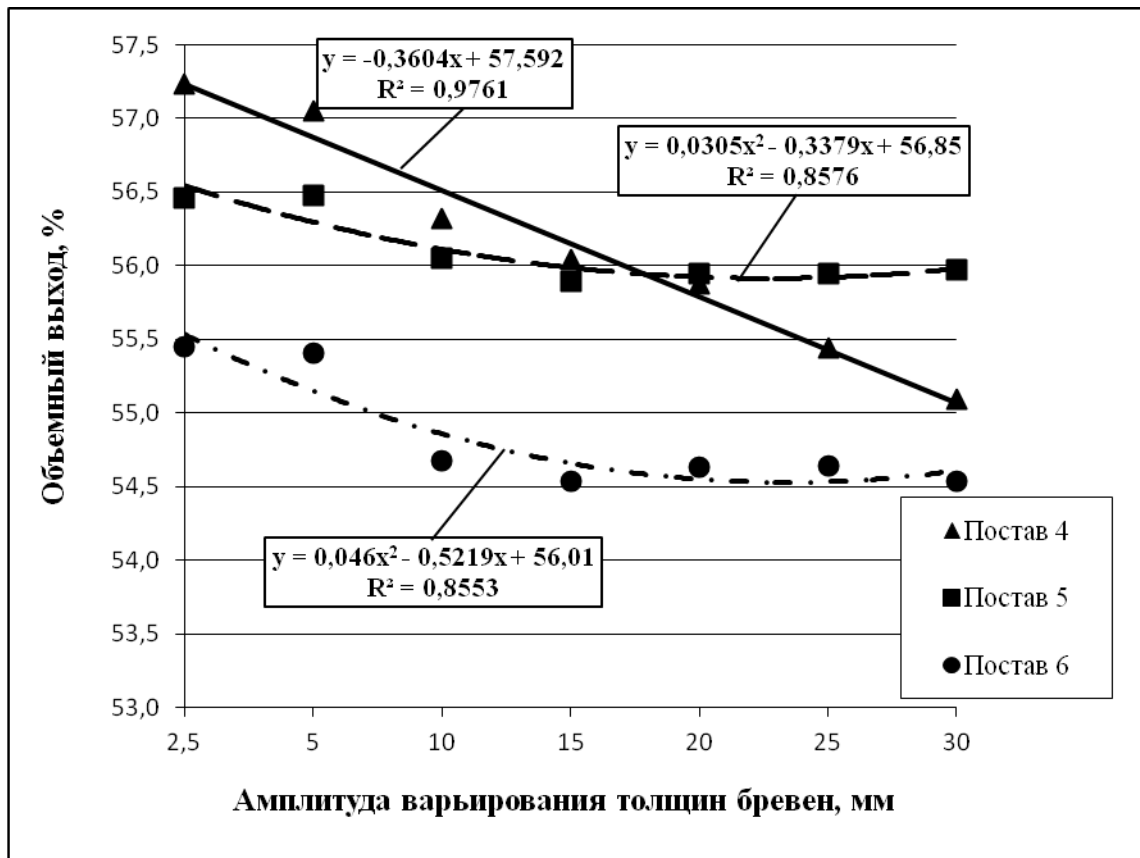


Рисунок 6.14 – Зависимость объёмного выхода от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0,25 %

Таблица 6.8 – Объёмный выход пиломатериалов при средней кривизне 0...0,25 %

Постав № 4, ddmax мм	Объемный выход, %					
	Кривизна					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
2,5	60,14	59,70	59,27	58,63	58,08	57,23
5	60,03	59,56	59,15	58,47	57,95	57,05
10	58,94	58,49	57,90	57,37	56,89	56,32
15	58,45	57,92	57,36	56,94	56,49	56,04
20	57,99	57,50	57,04	56,69	56,23	55,88
25	57,39	56,96	56,54	56,23	55,89	55,44
30	56,89	56,51	56,14	55,90	55,62	55,09

Таблица 6.9 –Рентабельность производства при средней кривизне 0...0,25 %

Постав № 4, ddmax, мм	Рентабельность, %					
	Кривизна					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
2,5	2,8	2,1	1,4	0,3	-0,7	-2,1
5	16,5	15,6	14,8	13,5	12,5	10,7
10	22,7	21,8	20,5	19,4	18,4	17,2
15	24,4	23,3	22,1	22,2	20,2	19,3
20	25	23,9	22,9	22,2	21,3	20,4
25	24,7	23,7	22,8	22,2	21,4	20,5
30	24,3	23,5	22,7	22,2	21,6	20,4

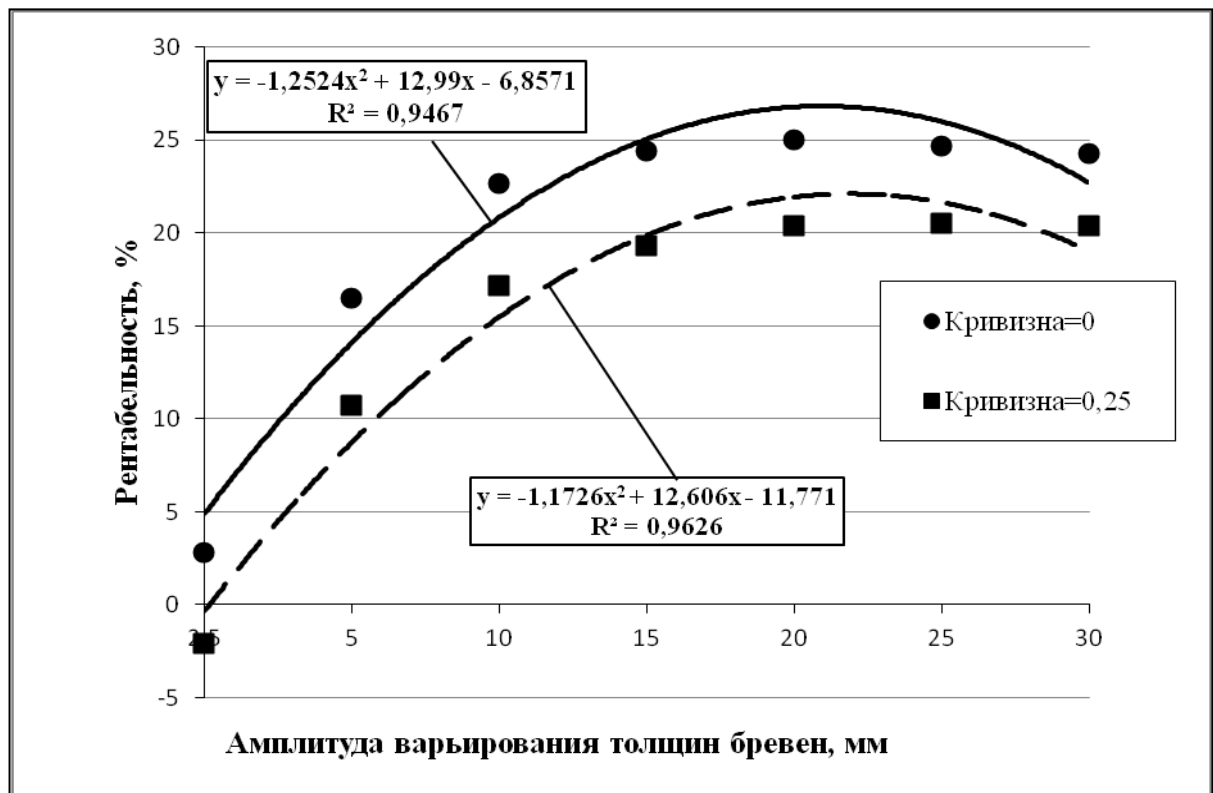


Рисунок 6.15 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0 и 0,25 %

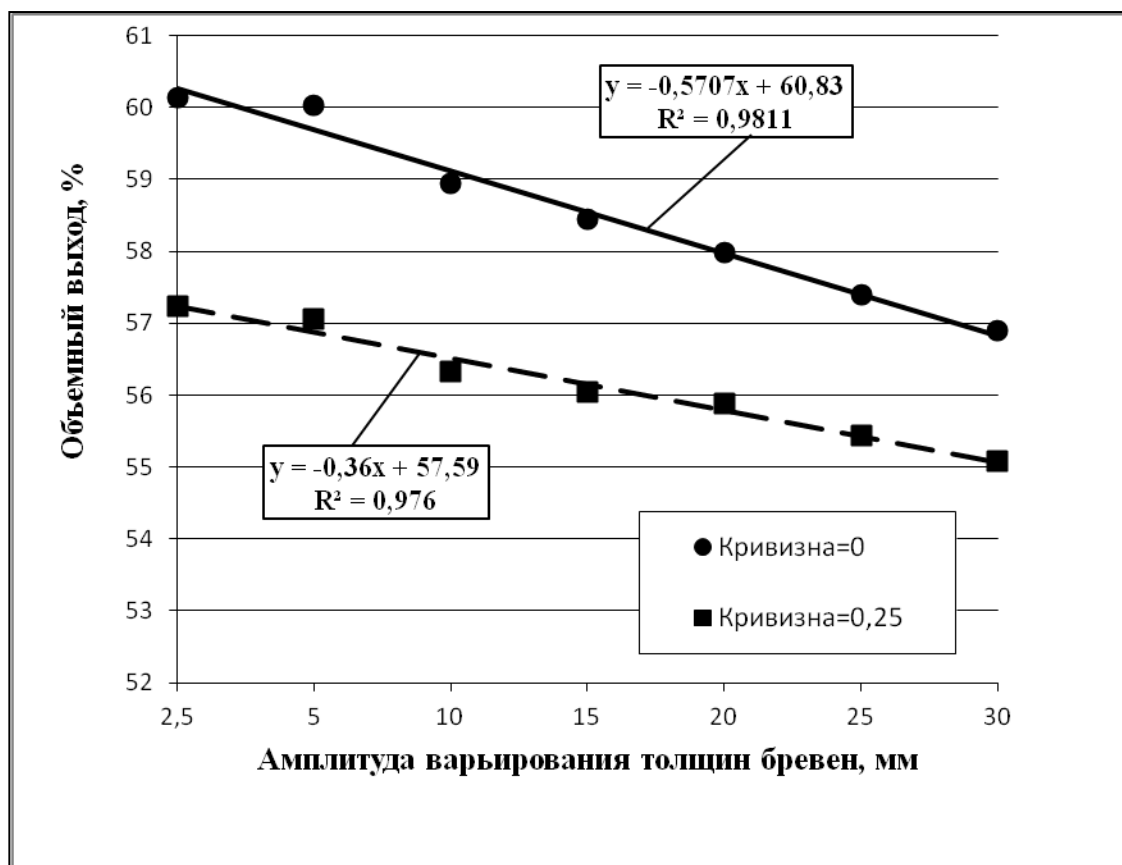


Рисунок 6.16 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней кривизне 0 и 0,25 %

Из рисунков 6.10, 6.12, 6.14, 6.16 видно, что зависимости объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом кривизны имеют линейный или квадратичный характер с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,840...0,978). При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм объёмный выход снижается для постава № 4 при кривизне 0; 0,05; 0,15; 0,25 % соответственно на 2,03; 2,06; 1,78; 1,17 %; для постава №5 – на 0,97; 1,00; 0,70; 0,53 %; для постава №6 – на 1,26; 1,02; 0,65; 0,78 %. Сравнивая приращения объёмного выхода пиломатериалов, видим, что на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен существенное влияние оказывает как структура и эффективность постава (0,64...1,13 %), так и кривизна брёвен (0,44...0,86 %). С увеличением кривизны брёвен графики зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен становятся более пологими. Например,

угловые коэффициенты графиков (рисунки 6.10, 6.12, 6.14, 6.16) для оптимального постава № 4 при кривизне 0; 0,05; 0,15; 0,25 % соответственно равны 0,571; 0,563; 0,477; 0,360. Кривизна брёвен снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщинам (до 0,86 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм при кривизне 0,25 %).

Таким образом, исследование зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен следует проводить с учётом их кривизны. Особенно это хорошо видно из рисунка 6.8 (таблица 6.16), где представлены зависимости объёмного выхода от амплитуды варьирования толщины брёвен для одного (оптимального) постава №4 и для двух крайних значений кривизны – 0 и 0,25 %.

Из рисунков 6.9, 6.11, 6.13, 6.15 видно, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учетом случайной кривизны брёвен описываются кривыми второго порядка с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,996...0,998). Причём, на характер этих зависимостей весьма слабое влияние оказывает кривизна брёвен. Так, при изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм рентабельность снижается для постава № 4 при кривизне 0,05; 0,15; 0,25 % соответственно на 8,3; 8,7; 9,7 %; для постава № 5 – на 10,7; 11,1; 11,4 %; для постава № 6 – на 10,0; 10,6; 10,3 %. Можно считать, что рентабельность при всех амплитудах варьирования толщины брёвен снижается при увеличении кривизны практически синхронно, поэтому графики рентабельности несколько опускаются вниз. Это видно из рисунка 6.15 (таблица 6.9), где представлены зависимости рентабельности от амплитуды варьирования толщины брёвен для одного (оптимального) постава № 4 и для двух крайних (из рассмотренных) значений кривизны – 0 и 0,25 %.

Вместе с тем, анализ таблиц 6.5...6.9 показывает, что с увеличением средней кривизны от 0 до 0,25 % 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).

Таким образом, исследование зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщин брёвен, также как и объёмного выхода пиломатериалов, следует проводить с учётом кривизны брёвен.

6.3 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их кривизны и эллиптичности

Результаты исследований представлены в таблицах 6.10, 6.11 и на рисунке 6.17, 6.18.

Таблица 6.10 – Объёмный выход пиломатериалов при эллиптичности 6 мм и при средней кривизне 0...0,25 %

Постав № 4, ddmax, мм	Объёмный выход, %					
	Кривизна					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
2,5	59,33	58,9	58,45	58,03	57,4	56,57
5	59,00	58,59	57,14	57,69	57,06	56,23
10	57,99	57,59	57,15	56,55	56,02	55,32
15	57,47	57,07	56,58	56,08	55,6	55,08
20	57,07	56,63	56,19	55,77	55,4	54,98
25	56,50	56,1	55,69	55,34	55,06	54,59
30	56,12	55,75	55,39	55,1	54,85	54,39

Таблица 6.11 – Рентабельность производства при эллиптичности 6 мм и при средней кривизне 0...0,25 %

Постав № 4, ddmax	Рентабельность, %					
	Кривизна					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
2,5	1,4	0,7	-0,1	-0,8	-1,8	-3,3
5	14,4	13,6	12,7	12	10,6	9
10	20,5	19,7	18,8	17,5	16,5	15
15	22,5	21,6	20,6	19,5	18,5	17,4
20	23,6	22,6	21,7	20,7	20	19
25	23,5	22,6	21,7	20,9	20,3	19,3
30	23,5	22,7	21,9	21,3	20,7	19,7

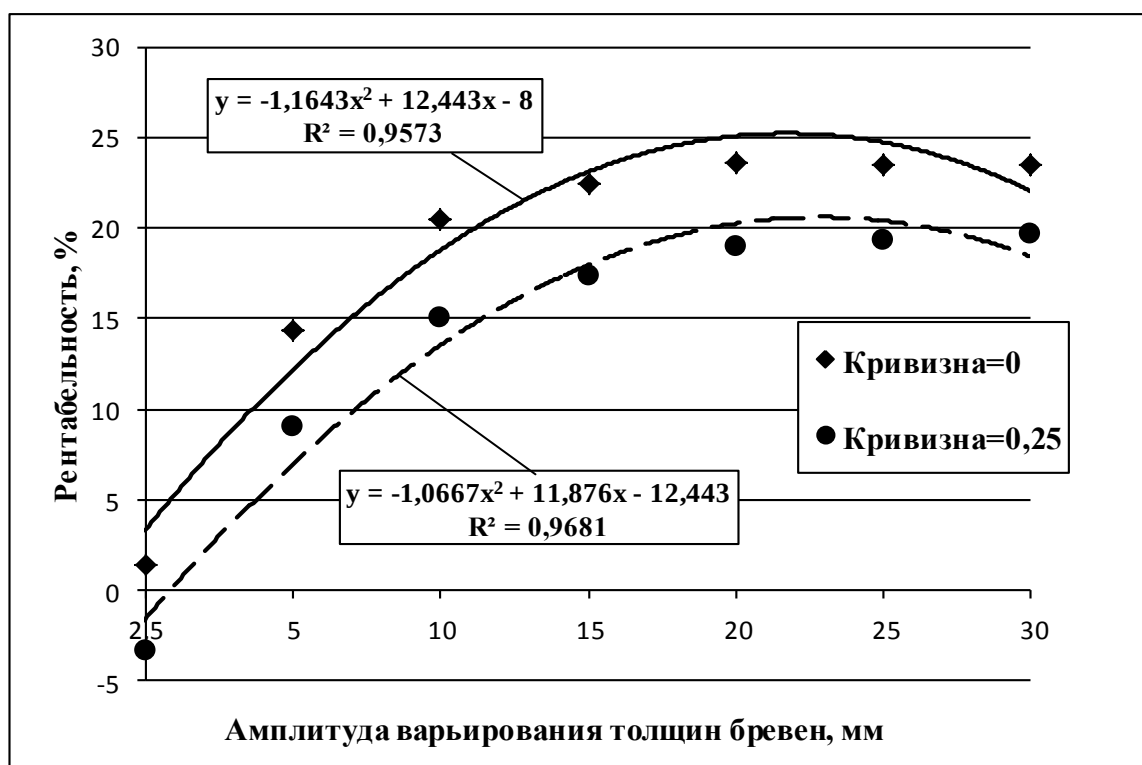


Рисунок 6.17 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при эллиптичности 6 мм и при средней кривизне 0 и 0,25 %

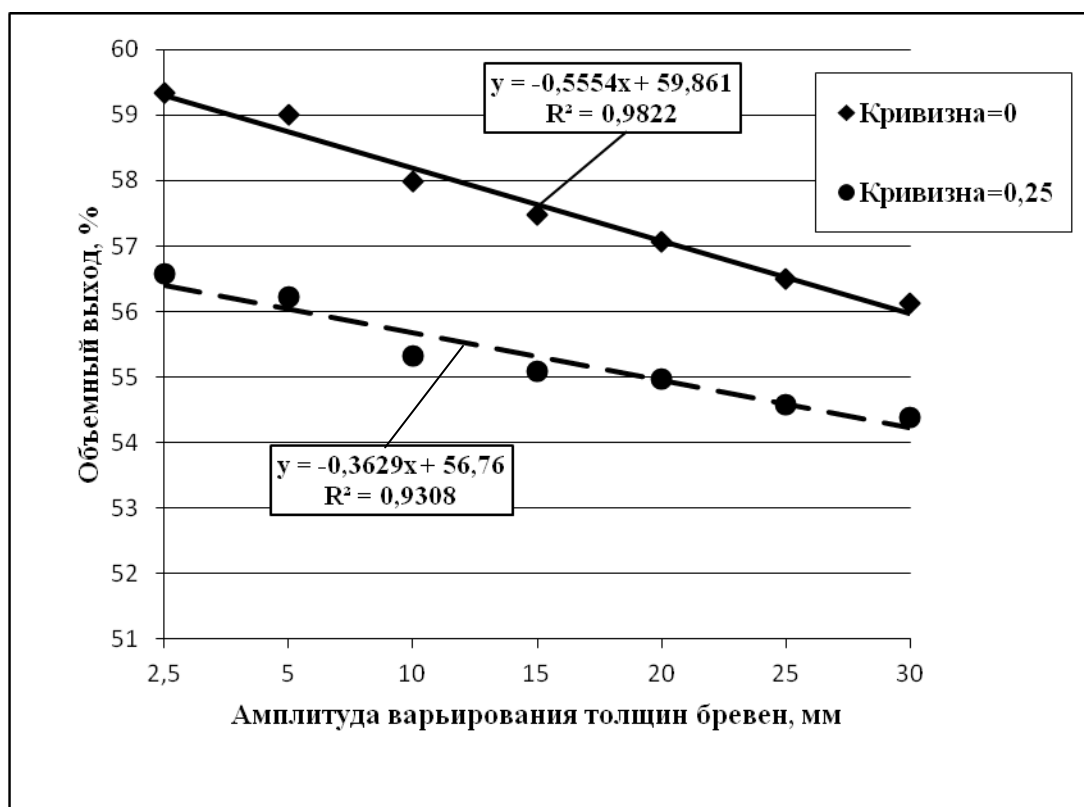


Рисунок 6.18 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при эллиптичности 6 мм и при средней кривизне 0 и 0,25 %

Из рисунка 6.18 видно, что зависимости объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом кривизны и (или) эллиптичности имеют линейный характер с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,931, 0,982).

При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм объёмный выход снижается для постава № 4 при эллиптичности 6 мм и кривизне 0; 0,05; 0,15; 0,25 % соответственно на 2,03; 1,96; 1,92; 1,25 %. Сравнивая приращения объёмного выхода пиломатериалов, видим, что под влиянием эллиптичности и кривизны брёвен падение объёмного выхода уменьшается на 0,78 %. Как было установлено ранее, из-за отдельного влияния эллиптичности 6 мм падение объёмного выхода при снижении дробности сортировки брёвен по толщине снижается на 0,1 %, а из-за влияния кривизны – на 0,86 %. При одновременном влиянии обоих факторов суммирования влияний не происходит. Можно предположить, что имеет

место «поглощение» большей случайной величиной меньшую, как бывает при сложении случайных величин. Для проверки выдвинутого предположения проведём анализ зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине.

Сравнивая графики, учитывающие только кривизну (рисунок 6.16) и кривизну в паре с эллиптичностью (рисунок 6.18), видим, что эллиптичность несколько снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к амплитуде варьирования толщины брёвен в распиловочной партии (угловые коэффициенты $-0,571$ (эллиптичность $- 0$, кривизна $- 0$), $-0,555$ (эллиптичность $- 6$ мм, кривизна $- 0$), если учитывается отдельно от кривизны и практически не влияет на чувствительность, если учитывается в паре с кривизной (угловые коэффициенты $-0,360$ (эллиптичность $- 0$, кривизна $- 0,25$ %); $-0,363$ (эллиптичность $- 6$ мм, кривизна $- 0,25$ %)). Угловые коэффициенты указывают также на то, что даже небольшая кривизна брёвен $0,25$ % примерно в $1,6$ раза сильнее, чем эллиптичность, снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине.

Таким образом, выводы, сделанные выше о том, что наличие кривизны брёвен в значительной мере снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине, сохраняет свою силу без корректировок при включении в рассмотрение эллиптичности брёвен. Более того, кривизна брёвен практически полностью «поглощает» влияние эллиптичности на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине.

Из рисунка 6.17 видно, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при средней кривизне 0 и $0,25\%$ и при средней эллиптичности 6 мм описываются кривыми второго порядка с достаточно высокими коэффициентами детерминации ($0,957...0,968$). Причём, характер этих зависимостей с введением эллиптичности практически не меняется.

Вместе с тем, анализ таблиц 6.10..6.11 показывает, что с увеличением средней кривизны от 0 до 0,25 % при эллиптичности 6 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) более активно, чем без учёта эллиптичности. Отметки 30 мм максимум рентабельности достигает уже при кривизне 0,05 % (без учёта эллиптичности – при кривизне 0,25 %).

Таким образом, исследование зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при определении оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине следует проводить с учётом кривизны и эллиптичности брёвен.

6.4 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их смещения относительно центра постава пил

Результаты исследований представлены в таблицах 6.12; 6.13 и на рисунке 6.19, 6.20.

Таблица 6.12 – Объёмный выход пиломатериалов при средней амплитуде смещения 0...20 мм

Постав № 4, ddmax, мм	Объёмный выход, %				
	Смещение				
	0	5	10	15	20
2,5	60,14	59,86	59,14	58,61	58,15
5	60,03	59,58	59	58,56	58,13
10	58,94	58,89	58,71	58,29	57,92
15	58,45	58,41	58,29	57,93	57,6
20	57,99	58,05	57,84	57,57	57,24
25	57,39	57,55	57,43	57,3	56,85
30	56,89	56,93	57,08	56,96	56,55

Таблица 6.13 – Рентабельность производства при средней амплитуде смещения 0...20 мм

Постав № 4, ddmax, мм	Рентабельность, %				
	Смещение				
	0	5	10	15	20
2,5	2,8	2,4	1,1	0,2	-0,6
5	16	15,6	14,4	13,5	12,7
10	22,7	22,6	22,2	21,1	20,3
15	24,4	24,7	24,5	23,3	22,6
20	25	25,7	25,2	24,1	23,4
25	24,7	25,8	25,5	25,2	23,5
30	24,3	24,4	25,6	25,3	23,6

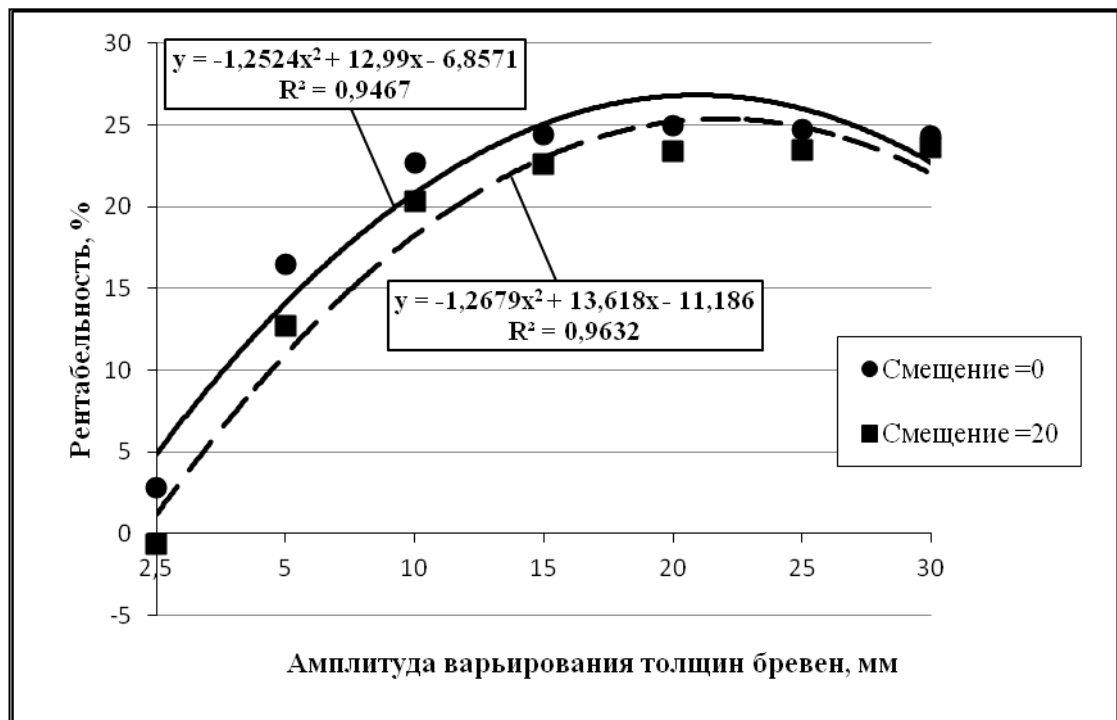


Рисунок 6.19 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней амплитуде смещения 0 и 20 мм

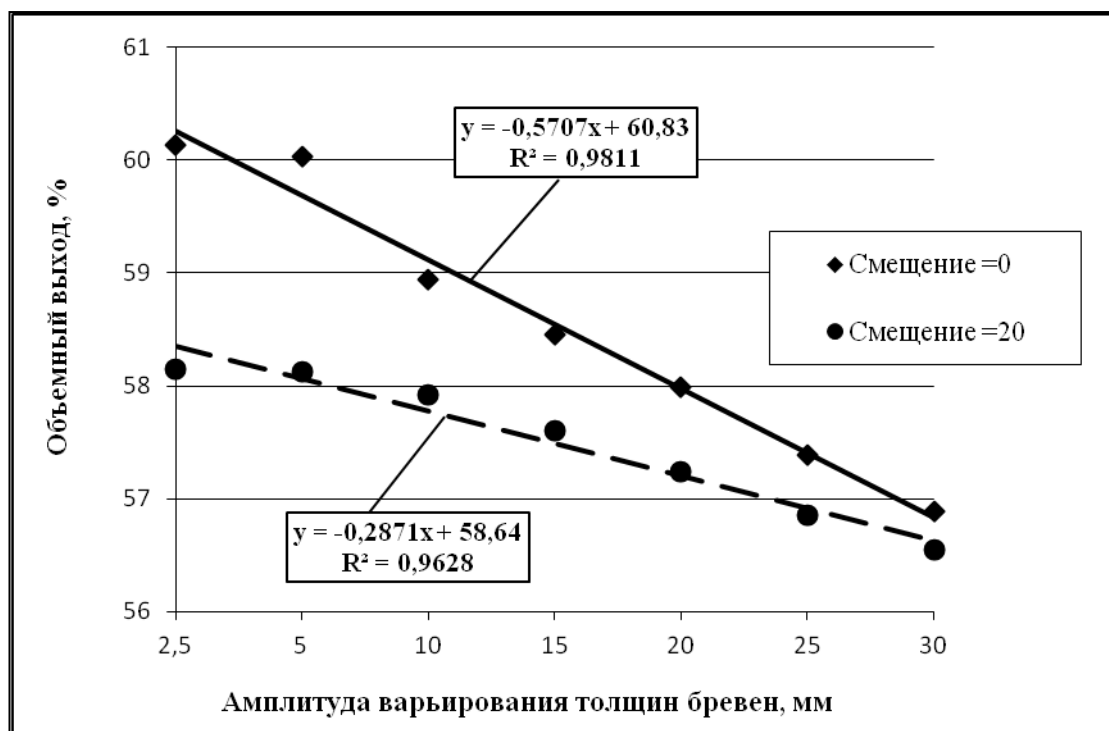


Рисунок 6.20 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней амплитуде смещения 0 и 20 мм

Из рисунка 6.20 видно, что зависимости объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом их смещения (на рисунке представлены графики при двух крайних из исследованных значений) имеют линейный характер с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,963...0,981). При изменении амплитуды варьирования толщины брёвен от 5 мм до 20 мм (таблица 6.12) объёмный выход снижается для постава № 4 при смещении 0, 10, 20 мм соответственно на 2,04; 1,16; 0,89 %. То есть, случайное смещение брёвен относительно центра постава пил с амплитудой 10 мм снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине на 0,88 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм. С увеличением смещения брёвен графики зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен становятся более пологими. Например,

угловые коэффициенты графиков (рисунок 6.20) для оптимального поставы № 4 при смещении 0; 20 мм соответственно равны 0,571; 0,287.

Подобная закономерность была выявлена выше при исследовании влияния эллиптичности и кривизны брёвен на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине (рисунки 6.8, 6.16, 6.18).

Таким образом, исследование зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен следует проводить с учётом их самопроизвольного поперечного смещения.

Из рисунка 6.19 видно, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учетом случайного смещения брёвен описываются кривыми второго порядка с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,9467; 0,9632). Причём, характер этих зависимостей практически не зависит от случайного поперечного смещения брёвен и брусьев относительно центра поставы пил. Можно считать, что рентабельность при всех амплитудах варьирования толщины брёвен снижается при увеличении смещения, также как при увеличении эллиптичности и кривизны практически синхронно, поэтому графики рентабельности несколько опускаются вниз.

Вместе с тем, анализ таблиц 6.12, 6.13 показывает, что с увеличением амплитуды смещения от 0 до 10...20 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).

Таким образом, исследование зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен, также как и объёмного выхода пиломатериалов, следует проводить с учётом самопроизвольного случайного поперечного смещения брёвен и брусьев.

6.5 Зависимость объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом их эллиптичности, кривизны и смещения относительно поставы пил

Таблица 6.14 – Объёмный выход и рентабельность производства при средней эллиптичности 6 мм, при средней кривизне 0,25 % и при средней амплитуде смещения 10 мм

ddmax	Рентабельность, %			Объёмный выход, %		
	Постав 4	Постав 5	Постав 6	Постав 4	Постав 5	Постав 6
2,5	-4,8	-6,1	-8,9	55,63	54,88	53,29
5	7,8	6,3	3,3	55,56	54,82	53,28
10	15,2	13,7	10,4	55,34	54,7	53,16
15	17,5	16,6	13,1	55,05	54,72	53,17
20	18,7	18,4	14,7	54,81	54,8	53,27
25	19,2	19,6	15,9	54,56	54,9	53,38
30	19,5	20,6	16,7	54,29	55	53,44

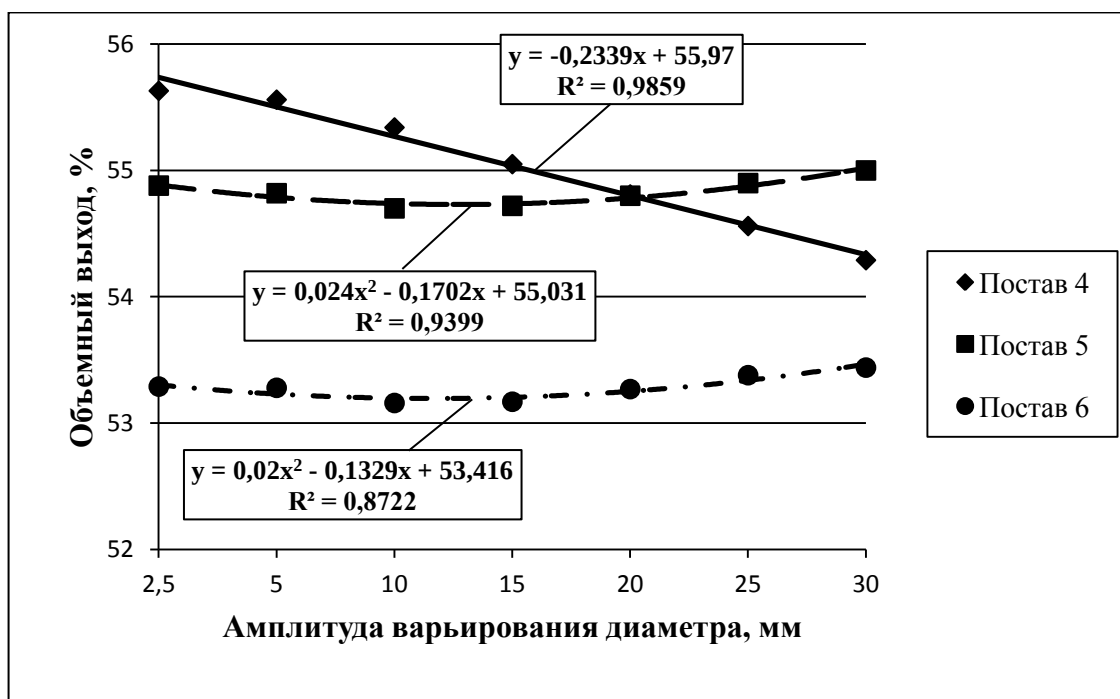


Рисунок 6.21 – Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм, при средней кривизне 0,25 % и при средней амплитуде смещения 10 мм

Из рисунка 6.21 видно, что зависимости объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом эллиптичности, кривизны и поперечного смещения брёвен относительно постава пил имеют линейный или квадратичный характер с достаточно высокими коэффициентами детерминации (0,872; 0,940; 0,986).

Сравнивая графики, учитывающие только эллиптичность (рисунок 6.4), только кривизну (рисунок 6.16), кривизну в паре с эллиптичностью (рисунок 6.18) и одновременно все три фактора (рисунок 6.21), видим, что при отдельном воздействии отрицательных факторов со средними значениями: эллиптичности - 6 мм, кривизны брёвен - 0,25 %, самопроизвольного поперечного смещения брёвен - 10 мм чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине снижается при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм для оптимального постава № 4. соответственно на 0,10; 0,86; 0,88 % (угловые коэффициенты линейных моделей при отдельном влиянии эллиптичности, кривизны, смещения соответственно равны: -0,554; -0,360; -0,287).

При одновременном воздействии этих факторов для постава № 4 чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к амплитуде варьирования толщины брёвен снижается на 1,28 % (угловой коэффициент - 0,233). То есть, наблюдается близкое к геометрическому суммирование отдельных влияний. Факторы с большим влиянием практически поглощают факторы с меньшим влиянием.

При неоптимальных поставах № 5, № 6 и при одновременном влиянии трёх факторов объёмный выход пиломатериалов практически не зависит от дробности сортировки брёвен по толщине.

Таким образом, при распиловке брёвен с дефектами формы неоптимальными поставами на оборудовании с несовершенной системой базирования сортировка брёвен по толщине как способ повышения объёмного выхода пиломатериалов теряет смысл.

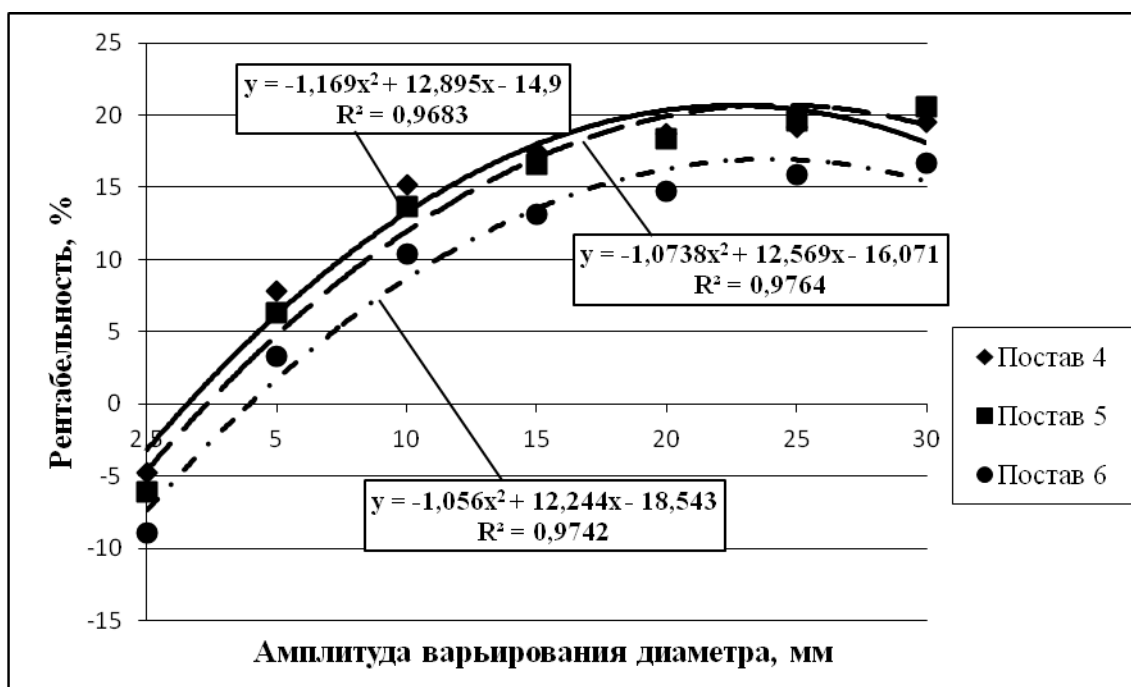


Рисунок 6.22 – Зависимость рентабельности от амплитуды варьирования толщины бревна при средней эллиптичности 6 мм, при средней кривизне 0,25 % и при средней амплитуде смещения 10 мм

Из рисунка 6.21 и таблицы 6.14 видно, что зависимости рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при средней эллиптичности 6 мм, средней кривизне 0,25 % и амплитуде смещения 10 мм описываются кривыми второго порядка с коэффициентами детерминации (0,968...0,976). Причём, внешний вид этих кривых, так же как и кривых, представленных на рисунках 6.1, 6.7, 6.15, 6.17, 6.19, весьма слабо зависит как от поставов, так и от случайных характеристик формы бревна и точности его базирования. Однако, сравнительный анализ таблиц 6.1; 6.4; 6.9; 6.11; 6.13; 6.14 показывает, что отклонение формы бревна и точности его базирования от идеальных, а характеристик поставов – от оптимальных приводит к смещению оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине от отметки 20 мм (два чётных диаметра) к отметке 30 мм (три чётных диаметра).

Таким образом, при подготовке пиловочного сырья к распиловке 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 по толщине с позиций экономической эффективности следует через три и более чётных диаметра.

6.6 Выводы

Исследование зависимостей объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом случайных характеристик формы бревна и точности его базирования позволяют сделать следующие выводы:

1 На зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом их эллиптичности существенное влияние оказывает структура и эффективность поставы (0,93...1,09 %) и менее существенное влияние (в 2 и более раза) оказывает эллиптичность брёвен (до 0,47 % при эллиптичности 8 мм).

С увеличением эллиптичности брёвен чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине несколько снижается (до 0,26 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм при эллиптичности 6 мм).

2 На зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен с учётом их кривизны существенное влияние оказывает как структура поставы (0,64...1,13 %), так и кривизна брёвен (0,44...0,86 %).

Кривизна брёвен снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщинам (до 0,86 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм при кривизне 0,25 %).

3 Эллиптичность снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к амплитуде варьирования толщины брёвен в распиловочной партии, если учитывается отдельно от кривизны и не влияет на чувствительность, если учитывается в паре с кривизной. Влияние кривизны брёвен практически полностью поглощает влияние их эллиптичности на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине.

4 На зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен существенное влияние оказывает самопроизвольное поперечное смещение брёвен относительно центра постава пил. Случайное смещение брёвен с амплитудой 10 мм снижает чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине на 0,88 % при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм.

5 При отдельном воздействии отрицательных факторов со средними значениями: эллиптичности - 6 мм, кривизны брёвен - 0,25 %, самопроизвольного поперечного смещения брёвен - 10 мм чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по толщине снижается при переходе от точности сортировки брёвен по толщине ± 5 мм к точности ± 20 мм для оптимального постава № 4. соответственно на 0,10; 0,86; 0,88 % (угловые коэффициенты линейных моделей при отдельном влиянии эллиптичности, кривизны, смещения соответственно равны: -0,554; -0,360; -0,287).

При одновременном воздействии этих факторов для постава № 4 чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к амплитуде варьирования толщины брёвен снижается на 1,28 % (угловой коэффициент - 0,233). То есть, наблюдается близкое к геометрическому суммирование отдельных влияний. Факторы с большим влиянием практически поглощают факторы с меньшим влиянием.

Для неоптимальных поставов № 5 и № 6 при одновременном влиянии трёх факторов объёмный выход пиломатериалов практически не зависит от дробности сортировки брёвен по толщине.

Таким образом, при распиловке брёвен с дефектами формы неоптимальными поставами на оборудовании с несовершенной системой базирования сортировка брёвен по толщине как способ повышения объёмного выхода пиломатериалов теряет смысл.

6 Исследование зависимостей объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен следует проводить с учётом их эллиптичности, кривизны и самопроизвольного поперечного смещения.

7 Характер зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен весьма слабо зависит как от поставов, так и от случайных характеристик формы бревна и точности его базирования. Рентабельность при всех амплитудах варьирования толщины брёвен снижается при увеличении эллиптичности, кривизны и величины смещения брёвен почти синхронно, лишь с некоторым отставанием при больших амплитудах варьирования толщины брёвен. Графики рентабельности опускаются вниз практически поступательно с некоторым «выпрямлением» правых ветвей. Это наблюдается как при групповом воздействии рассмотренных случайных факторов, так и при воздействии этих факторов по отдельности.

8 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...20 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).

9 С увеличением средней кривизны от 0 до 0,25 % при эллиптичности 6 мм максимум рентабельности смещается вдоль оси абсцисс от амплитуды варьирования диаметров брёвен 20 мм к амплитуде 30 мм более активно, чем

без учёта эллиптичности. Отметки 30 мм максимум рентабельности достигает уже при кривизне 0,05 % (без учёта эллиптичности – при кривизне 0,25 %).

10 Исследование зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен при определении оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине следует проводить с учётом кривизны и эллиптичности брёвен, а также их самопроизвольного случайного поперечного смещения.

11 Отклонение формы бревна и точности его базирования от идеальных, а характеристик поставов – от оптимальных приводит к смещению оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине от отметки 20 мм (два чётных диаметра) к отметке 30 мм (три чётных диаметра).

12 При подготовке пиловочного сырья к массовой распиловке с использованием современных технологий и оборудования его следует сортировать по толщине через два чётных диаметра.

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

7 Принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине при их массовой крупно-поточной распиловке

Уменьшение дробности сортировки брёвен по толщине до двух чётных диаметров вызывает изменения объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства с различными знаками: объёмного выхода со знаком минус, а рентабельности - со знаком плюс. Отсюда следует принципиально важный вывод – объёмный выход нельзя использовать в качестве критерия эффективности лесопильного производства. Его нецелесообразно применять в качестве критерия оптимальности характеристик лесопильного производства. В частности, в качестве критерия оптимальности дробности сортировки брёвен по толщине следует использовать не объёмный выход пиломатериалов, как это было ранее, а рентабельность производства.

Зависимости рентабельности лесопильного производства от дробности сортировки брёвен по толщине имеют унимодальный характер. Сначала, при переходе от сортировки с точностью $\pm 2,5$ мм к сортировке с точностью ± 10 мм рентабельность резко возрастает, затем, при переходе от сортировки с точностью ± 10 мм к точности ± 20 мм, она возрастает менее активно, а на интервале от ± 20 мм до $30 \pm$ мм (сортировка по двум – трём чётным диаметрам) рентабельность достигает экстремума.

Таким образом, оптимальная дробность сортировки брёвен по толщине при массовой крупно-поточной распиловке 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.

Характер зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен практически не изменяется при весьма существенном варьировании доли затрат на участке подготовки сырья к раскрою (от 0,136 до 0,236). При значительном увеличении доли этих затрат - до 0,336 и более, то есть в 2 раз большей, чем средняя по отрасли, максимальная рентабельность «смещается вправо» и достигается при сортировке брёвен с точностью ± 30 мм (через три чётных диаметра).

При идеальных условиях, когда форма и размеры бревна – номинальные теоретические, а поперечное смещение бревна относительно пил отсутствует зависимость рентабельности производства от варьирования толщин брёвен в распиловочных партиях брёвен 16 см / 5,5 м, 22 см / 5,5 м и 26 см / 5,5 м при доле сырьевых затрат 0,8 ($ДСЗ=0,8$) весьма слабо зависит от поставов и объёмных выходов, которые они обеспечивают. При всех рассмотренных поставках сортировка брёвен по толщине с точностью выше $\pm 3,7... \pm 3,8$ мм убыточна, рентабельность возрастает наиболее значительно (на 14,8...19,0 %) при увеличении величины варьирования толщины брёвен от $\pm 2,5$ до ± 10 мм. При увеличении варьирования толщины брёвен от ± 10 до ± 20 мм рентабельность возрастает на 1,4...4,4 %, а при увеличении варьирования толщины брёвен от ± 20 до ± 30 мм рентабельность изменяется от $-0,5$ % до $+1,8$ %.

При увеличении номинальной толщины брёвен в распиловочной партии и снижении качества поставка максимум рентабельности имеет тенденцию смещаться 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).

При увеличении длин брёвен оптимум дробности сортировки по толщине смещается в сторону более грубой сортировки через три чётных диаметра. При использовании неоптимальных (по критерию объёмного выхода) поставов максимум рентабельности более явно (чем при длине 5,5 м) смещается в сторону трёх и более чётных диаметров.

Уменьшение дробности сортировки брёвен до 2-х чётных диаметров (± 20 мм) при расчётных диаметрах 16 см, 22 см, 26 см и при ДСЗ = 0,8 экономически оправданно, а уменьшение дробности до 3-х чётных диаметров, может, как увеличивать рентабельность, так и снижать её в пределах от 0,5 до 1,8 %.

При доле сырьевых затрат ДСЗ = 0,6 экономически нецелесообразно сортировать брёвна менее, чем через три чётных диаметра.

Таким образом, чем дешевле сырьё и чем дороже его обработка, тем с меньшей точностью его следует сортировать.

При реальных условиях, когда форма, размеры и поперечное смещение бревна относительно пил варьируют случайным образом, характер (вид) зависимостей рентабельности производства пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен весьма слабо зависит как от поставов, так и от случайных характеристик формы бревна и точности его базирования. Рентабельность при всех амплитудах варьирования толщины брёвен снижается при увеличении эллиптичности, кривизны и величины смещения брёвен почти синхронно, лишь с некоторым отставанием при больших амплитудах варьирования толщины брёвен. Графики рентабельности опускаются вниз практически поступательно с некоторым «выпрямлением» правых ветвей. Это наблюдается как при групповом воздействии рассмотренных случайных факторов, так и при воздействии этих факторов по отдельности.

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...20

мм максимум рентабельности смещается вдоль оси абсцисс вправо 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).

С увеличением средней кривизны от 0 до 0,25 % при эллиптичности 6 мм максимум рентабельности смещается вдоль оси абсцисс от амплитуды варьирования диаметров брёвен 20 мм к амплитуде 30 мм более активно, чем без учёта эллиптичности. Отметки 30 мм максимум рентабельности достигает уже при кривизне 0,05 % (без учёта эллиптичности – при кривизне 0,25 %).

Таким образом, отклонение формы бревна и точности его базирования от идеальных, а характеристик поставов – от оптимальных приводит к смещению оптимальной дробности сортировки брёвен по толщине от отметки 20 мм (два чётных диаметра) к отметке 30 мм (три чётных диаметра).

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 реформирования.

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.

Поэтому, исследуя вопросы оптимизации дробности сортировки пиловочника по толщине по критерию рентабельности лесопильного производства параллельно исследовались закономерности формирования объёмного выхода пиломатериалов. В результате установлено:

Зависимости объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине при использовании оптимальных поставов имеют отрицательный линейный характер.

При использовании менее эффективных поставов зависимости имеют нелинейный затухающий характер. Сначала, при переходе от сортировки с точностью $\pm 2,5$ мм к сортировке с точностью ± 10 мм объёмный выход снижается наиболее существенно, затем, при переходе от сортировки с точностью ± 10 мм к точности ± 20 мм, он снижается менее активно, а на интервале ± 20 мм... ± 30 мм (сортировка по двум – трём чётным диаметрам) объёмный выход практически не реагирует на уменьшение дробности сортировки брёвен по толщине.

При идеальных условиях, когда форма и размеры бревна – номинальные теоретические, а поперечное смещение бревна относительно пил отсутствует, сортировка брёвен по толщине при расчётном диаметре брёвен до 22 см и длине 5,5 м теоретически максимально может повысить объёмный выход пиломатериалов на 3,2%.

За счёт достижимой по точности в настоящее время сортировки брёвен по одному чётному диаметру можно повысить объёмный выход пиломатериалов на 2 %.

При номинальной толщине брёвен 26 см их сортировка по толщине теоретически может повысить объёмный выход пиломатериалов на 1,7 %, а сортировка по одному чётному диаметру – на 1,2 %.

При толщинах брёвен 16...22 см степень влияния дробности сортировки брёвен по толщине на объёмный выход пиломатериалов в 1,5...2 раза выше, чем при толщине 26 см.

Чувствительность объёмного выхода пиломатериалов к дробности сортировки брёвен по диаметрам при номинальной толщине 22 см в среднем возрастает примерно на 30 % при уменьшении длины брёвен с 5,5 м до 4 м.

При реальных условиях, когда форма, размеры и поперечное смещение бревна относительно постав пил варьируют случайным образом, на зависимость объёмного выхода пиломатериалов от амплитуды варьирования толщины брёвен существенное влияние оказывает структура и эффективность постава, кривизна брёвен, а также самопроизвольное поперечное смещение брёвен относительно центра постава пил. Менее существенное влияние (в 2 и более раза) оказывает эллиптичность брёвен.

При использовании оптимальных поставов и одновременном воздействии эллиптичности, кривизны и смещения брёвен на объёмный выход пиломатериалов наблюдается близкое к геометрическому суммирование отдельных влияний. Факторы с большим влиянием практически «поглощают» факторы с меньшим влиянием. Влияние кривизны «поглощает» влияние эллиптичности.

Для неоптимальных поставов при одновременном влиянии трёх факторов объёмный выход пиломатериалов практически не зависит от дробности сортировки брёвен по толщине.

Таким образом, при распиловке брёвен с дефектами формы неоптимальными поставами на оборудовании с несовершенной системой базирования сортировка брёвен по толщине как способ повышения объёмного выхода пиломатериалов теряет смысл.

Фактический объёмный выход пиломатериалов весьма существенно отличается от расчётного объёмного выхода. Для номинальной толщины бревна 22 см, являющейся средней по отрасли при массовой крупно-

поточной распиловке, фактический объёмный выход ниже расчётного примерно на 10 %. Вклад не учитываемых случайных характеристик брёвен и процессов их раскроя в величину отклонения фактического объёмного выхода от расчётного его значения можно оценить по степени влияния следующим образом:

- кривизна бревна: 4,05...6,36 %;
 - сортировка по толщине бревна: 1,32...2,11 %;
 - эллиптичность бревна: 0,93...1,13 %;
 - базирование бревна: 0,05...0,15 %.
- Общее снижение: 6,55...9,55 %.

Заключение

В ходе выполнения диссертационных исследований полученные результаты представлялись в выводах по разделам. Ниже представлены основные из них в обобщенном виде.

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 влияния случайного варьирования толщины, кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства.

6 Исследованы зависимости объёмного выхода пиломатериалов и рентабельности их производства от дробности сортировки брёвен по толщине с учётом кривизны, эллиптичности и точности базирования брёвен.

7 Рентабельность лесопильного производства следует использовать в качестве критерия его эффективности в основном на стадии создания производственного процесса лесопильного предприятия или его функционального реформирования. При оперативном планировании

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

8 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.

9 Разработаны принципы установления дробности сортировки брёвен по толщине для конкретных характеристик реального лесопильного производства с массовой крупно-поточной технологией.

10 Для дальнейшего повышения эффективности массового крупно-поточного лесопиления необходимо исследовать влияние количества толщин досок в поставе и градации их длин на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства.

Список литературы

- 1 Фельдман, Х. Л. Система максимальных поставов на распиловку / Х. Л. Фельдман. – Л.: Лесотехн. изд-во. 1932. – 276 с.
- 2 Шапиро, Д. Ф. Лесопильно-строгальное производство / Д. Ф. Шапиро. – М.: 1935. – 508с.
- 3 Песоцкий, А. Н. Лесопильно-строгальное производство / А. Н. Песоцкий. – М.: Гослес-бумиздат, 1949. – 755 с.
- 4 Гутерман, М. Н. Основные вопросы теории первичного раскрыя древесины на лесозаводах / М. Н. Гутерман. – М.: Гослесиздат, 1950. – 24 с.
- 5 Титков, Г. Г. Теоретические основы наивыгоднейшего объемного использования пиловочных бревен: автореф. дис... канд. техн. наук: / Г. Г. Титков. Ленингр. лесотехн. акад. – Л., 1953. – 20 с.
- 6 Залгаллер, В. А. Новое в составлении поставов на распиловку бревен / В. А. Залгаллер. – Л.: 1956. – 64 с.
- 7 Власов, Г. Д. Технология деревообрабатывающих производств / Г. Д. Власов, В. А. Куликов, С. В. Родионов. – М.: Гослесиздат. 1960. – 566 с.
- 8 Грачев, А. В. Механизация и автоматизация трудоемких операций в лесопильном производстве / А. В. Грачев. – М.: Лесная промышленность. 1961. – 432 с.
- 9 Батин, Н. А. Теоретические и экспериментальные исследования пиловочного сырья: дис. ... д-ра техн. наук. – / Н. А. Батин. Минск, 1964. – 363 с.
- 10 Песоцкий, А. Н. Лесопильное производство / А. Н. Песоцкий – М: Лесная промышленность, 1970. – 432 с.
- 11 Аксенов, П. П. Технология пиломатериалов. Учебник для вузов / П. П. Аксенов [и др]. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 480 с.

12 Грачев, А. В. Совершенствование технологии и специализация лесопиления / А. В. Грачев. – М.: Деревообрабатывающая промышленность, 1978. – 332 с.

13 Грачев, А. В. Влияние изменчивости посортного состава пиломатериалов на объем партии запуска сортировочно-пакетирующих линий / А. В. Грачев, В. И. Барашиков // Известия вузов. Лесной журнал. – 1986. – с. – 20-23.

14 Турушев, В. Г. Технологические основы автоматизированного производства пиломатериалов / А. Г. Турушев. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 208 с.

15 Турушев, В. Г. О целесообразности распиловки кривых бревен брусом методом / В. Г. Турушев. – М.: Деревообрабатывающая промышленность, 1966. – 16 с.

16 Лурье, Л. З. Направления развития лесопиления в СССР и за рубежом / Л. З. Лурье. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 25 с.

17 Лурье, Л. З. Лесопильная промышленность Европы / Л. З. Лурье. – М.: - Лесная промышленность, 1970. – 207 с.

18 Лурье, Л. З. Линия агрегатной переработки бревен / Л. З. Лурье. – М.: Деревообрабатывающая промышленность, 1970. – № 7, 3-5 с.

19 Канторович, Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л.В. Канторович. – Новосибирск, 1971. – 300 с

20 Иванов, В. Д. Укладка, хранение, погрузка пиломатериалов / В. Д. Иванов, В. Ф. Щеглов. – М.: Лесная промышленность, 1970. 64 с.

21 Калитеевский, Р. Е. Проектирование лесопильных потоков / Р. Е. Калитеевский. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 182 с.

22 Калитеевский, Р. Е. Автоматизация технологических процессов лесопиления / Р. Е. Калитеевский. - М.: Лесная. Промышленность, 1964. – 244 с.

23 Калитеевский, Р. Е. Автоматизация производственных процессов в лесопилении / Р. Е. Калитеевский. – М: Лесная промышл., 1979. – 339 с.

24 Калитеевский, Р. Е. Технология лесопиления / Р. Е. Калитеевский — М.: Лесная промышленность, 1986. — 264 с.

25 Калитеевский, Р. Е. Информационные технологии производства пиломатериалов с использованием ЭВМ / Р. Е. Калитеевский — СПб, 1990. — 94 с.

26 Калитеевский, Р. Е. Теория и организация лесопиления / Р. Е. Калитеевский — М.: «Экология», 1995. — 352 с.

27 Калитеевский, Р. Е.,. Система компьютерных программ для оперативного управления процессами подготовки и раскроя пиловочного сырья / Р. Е. Калитеевский, А. С. Гудков // Деревообрабатывающая промышленность. Науч.-технич., экономич. и производств. журн. — 1995.-№ 2 — с. 68-74.

28 Калитеевский, Р. Е. Расчет процессов сортировки пиловочника с применением ЭВМ / Р. Е. Калитеевский. Лекции. - Л.: ЛТА, 1987. — 40 с.

29 Калитеевский, Р. Е. Лесопиление в 21 веке. Технология, оборудование, менеджмент. Издание второе, исправленное и дополненное. / Р. Е. Калитеевский. - СПб.; «ПрофиКС», 2008. - 496 с.

30 Ветшева, В. Ф. Раскрой крупномерных бревен на пиломатериалы. / В. Ф. Ветшева. — М.: Лесная промышленность, 1976. — 166 с.

31 Ветшева, В. Ф. Расчет поставов на ЭВМ. / В. Ф. Ветшева, Г. А. Логинова, П. К. Белимов. — Красноярск: СТИ, 1990. — 24 с.

32 Ветшева, В. Ф.. Рациональный раскрой пиловочного сырья. / В. Ф. Ветшева, М. В. Малькевич. — Красноярск: СТИ, 1993. — 148 с.

33 Ветшева, В. Ф. Оценка рациональности поставов по технологическим признакам: Проблемы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий на предприятиях лесного комплекса и подготовка лесоинженерных кадров / В. Ф. Ветшева // Материалы Всеросс. научн.-практич. конф. / Воронеж, 1995. — 38 с.

34 Ветшева, В. Ф., Выход пиломатериалов в зависимости от структуры поставов, диаметров и длин бревен / В. Ф. Ветшева, С. А.

Черепанова // Проблемы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий на предприятиях лесного комплекса и подготовка лесоинженерных кадров: Материалы Всероссийской науч. – практ. конф. / Воронеж, 1995. – 37 с.

35 Рыкунин, С. Н. Рациональное использование древесного сырья в производстве заготовок: дис. д-ра техн. наук. / С. Н. Рыкунин. – Московский лесотехнический институт. – М. 1987. – 244 с.

36 Матвеева, И. С. Повышение выхода пиломатериалов при брусоразвальном способе распиловки брёвен: дис. канд. техн. наук / И. С. Матвеева. Сибирский государственный технологический университет. – Красноярск. 2005. - 194 с.

37 Фергин, В. Р. Повышение эффективности процессов продольного пиления в лесопильных потоках.: автореф. дис. д-ра. техн. наук. / В. Р. Фергин. Московский лесотехнический институт. – М. 1989. - 324 с.

38 Копейкин, А. М. Технологические основы эффективного использования древесины мягколиственных пород в производстве пилопродукции.: Автореферат дис. доктора техн. наук. / А. М. Копейкин. – ОАО ЦНИИМОД. – 2002.

39 Копейкин, А.М. Перспективы развития технологии лесопиления. [Текст] / А.М. Копейкин. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 164 с

40 Турушев, В. Г. Автоматизация подачи брусьев в лесопильные рамы. / В.Г. Турушев – «Труды ЦНИИМОД». – 1969. – 37 с.

41 Соболев, И. В. Оперативно-календарное планирование и диспетчерование в АСУ лесным производством / И. В. Соболев, М. Я. Бравый. – Обзор /ВНИПИЭИлесопром. – М., 1976. – 56 с.

42 Соболев, И. В. Управление производством пиломатериалов / И. В. Соболев. - М.: Лесная промышленность. 1981. – 184 с.

43 Соболев, И. В. Модели и методы объемно-календарного планирования лесопильного производства / И. В. Соболев, Л. М.

Пуолакайнен, Т. Н. Репина. – М: Деревообрабатывающая промышленность, 1975. – № 4, 13-15 с.

44 Соболев, И. В. Оптимизация раскроя пиловочного сырья / И. В. Соболев – М.: Деревообрабатывающая промышленность, 1971. – 37 с.

45 Розенблит, М. С. О разработке имитационной модели формирования и раскроя хлыстов и бревен / М. С. Розенблит. // Научные труды МЛТИ – М., 1982. – Вып. 140. – 68 с.

46 Розенблит, М. С. Оптимизация раскроя сырья на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях с поставкой древесины в хлыстах / М. С. Розенблит, А. А. Пижурин. // Научн. тр. МЛТИ. – 1984.-Вып.161. – 53-54 с.

47 Пижурин, А. А. Комплекс математических моделей задачи оптимизации раскроя хлыстов и бревен: научные труды / Центр научных исследований, институт механической обработки древесины. – Архангельск, 1988. – 147 с.

48 Пижурин, А. А. Исследование процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. - М.: Лесная промышленность, 1984. – 232 с.

49 Пижурин, А. А. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки / А. А. Пижурин, М. С. Розенблит. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 296 с.

50 Пижурин, А. А. Оптимизация раскроя хлыстов, пиловочных бревен и пиломатериалов на заготовки для деревянного домостроения : дис. канд. техн. наук / А. А. Пижурин, – М.:1989. – 197 с.

51 Розенблит, М. С. Оптимизация раскроя пиловочного сырья: автореф. дис. докт. техн. наук, 1990. – 32 с.

52 Богданов, Е. С. Справочник по лесопилению / Е. С. Богданов, А. М. Боровикова, Н. Д. Голенищев / под ред. С. М. Хасдана – М., 424 с.

53 Шалаев, В. С. Совершенствование теории раскроя древесного сырья на пилопродукцию заданных размеров и качества Автореферат дис.

доктора техн. наук. / В. С. Шалаев. Московский государственный университет леса. – М. 1995.

54 Глотова, Т. И. Совершенствование технологической подготовки процессов сортировки и раскроя сырья на пиломатериалы с применением ПЭВМ: Автореф. дис. канд. техн. наук / Т. И. Глотова - Ленингр.лесотехн.акад. – Л., 1979.

55 Финк, Р. С. Исследование технологии и продольных сортировочных устройств складов сырья лесопильных заводов: Автореф. дис. канд. техн. наук / Р. С. Финк – М., 1974. – 215 с.

56 Кирюшина М. П. Совершенствование технологии лесопильного производства в ФРГ.-1992.-С.38-48- (Деревообработка: Экспресс-информ./ ВНИПИЭИлеспром; вып. 4)

57 Разработка предложений по пакетному способу обращения пиломатериалов в заключительной фазе лесопильного производства на предприятиях ПО Красноярсклесозэкспорт» : отчет о НИР /СибНИИЛП; рук. Осипенко А.Н. – Красноярск, 1980. – 350с.

58 Петровский, В. С. Исследование образующих древесных хлыстов / В. С. Петровский. // Лесное хозяйство, 1964. – № 9. – 10 с.

59 Петровский, В. С. Алгоритмизация раскроя стволов на пиловочное сырье для максимизации объемного выхода обрезных пиломатериалов / В. С. Петровский. // Лесной журнал, 1968. – № 4. – 7 с.

60 Петровский, В. С. Оптимальная раскряжевка лесоматериалов / В. С. Петровский //-2-е изд. перераб. и доп. – М. :Лесная пром-сть, 1989. – 288 с.

61 Боровиков, Е. М. Лесопиление на агрегатном оборудовании / Е. М. Боровиков, Л. А. Фефилов, В. В. Шестаков. – М.: Лесная промышленность. 1985. – 2165 с.

62 Анучин, Н. П. Раскряжка хвойных деревьев / Н. П. Анучин. – М.: Гослестехиздат. 1936. – 174 с.

63 Сухов, И. Е. Раскрой хлыстов и сортировка пиловочника на лесопильных предприятиях с целью увеличения выхода пиломатериалов : дис. канд. техн. наук / И. Е. Сухов. - Л., 1986. – 174 с.

64 Образцов, С. А. Система поставов / С. А. Образцов. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1950. – 96 с.

65 Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М.: «Наука», 1971. – 576 с.

66 Кемени, Дж. Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М.: Советское радио, 1972. – 192 с.

67 ГОСТ 6782.75 (СТ СЭВ 1148-78) Продукция из древесины хвойных пород : величина усушки. - Взамен ГОСТ 6782-67; введ. 01.07.76. - М.: Из-во стандартов, – 38 с.

68 Виллинстон, Э. Д. Производство пиломатериалов (конструирование и технология на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях) / Э. Д. Виллинстон. под общ. ред. к.т.н. С. М. Хасдана. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 384 с.

69 Шатилов, Б. А. Лесопиление за рубежом / Б. А. Шатилов. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 96 с

70 Пуговкин, В. Ф. Математические модели оптимизации раскроя хлыстов / В. Ф. Пуговкин, Г. А. Степаков. – ИВУЗ, Лесной журнал, 1968. – № 6, – 133-134 с.

71 Фергин, В. Р. Методы оптимизации в лесопильно-деревообрабатывающем производстве / В. Р. Фергин. – М.:1975. – 216 с.

72 Барашиков, В. И. Некоторые аспекты рационального использования сухих пиломатериалов и совершенствования технологического процесса их окончательной обработки / В. И. Барашиков. Труды ЦНИИМОД, 1985. – 119 – 123 с.

73 Кошуняев, Б. И. Оптимизация переработки сырья в лесопилении / Б. И. Кошуняев. – М.: Лесная промышленность. 1987. – 110 с

74 Нушкарёв, С. Г. Экономическая эффективность специализации лесопильных цехов на выработку ограниченного числа сечений и толщин / С. Г. Нушкарёв, Т. Г. Корнева // Механическая обработка древесины, вып.1, - М., 1984. – с. 6-10.

75 Таха, Х. Введение в исследование операций / Х. Таха. В 2-х книгах. пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 479 с.

76 Реклейтис, Г. Оптимизация в технике / Г. Реклейтис, А. Рейвидран, К. Рэгсдел: пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 240 с.

77 Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М., 1978. – 400 с.

78 Огурцов, В. В. Имитационное моделирование лесопильных предприятий с пакетной технологией / В. В. Огурцов, И. С. Матвеева, Т. В. Бондарева // Лесозэксплуатация: межвуз. сб. ст. – Красноярск, СибГТУ, 1998. - 5 с.

79 Огурцов, В. В. Сбежистость бревен / В. В. Огурцов, И. С. Матвеева, А. П. Чижев // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. – Красноярск : СибГТУ, 2006. – Т. 2. – с. 192-194.

80 Огурцов, В. В. Математические модели сосновых хлыстов Нижнего Приангарья / В. В. Огурцов, А. П. Чижев, И. С. Матвеева // Вестник СибГТУ. 2002. – 10-12 с.

81 Огурцов, В. В. Имитационное моделирование лесных массивов для производства пиломатериалов / В. В. Огурцов, А. П. Чижев, И. С. Матвеева // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. Том 2 – Красноярск, СибГТУ, 2004. – 132-135 с.

82 Огурцов, В. В. Зависимость объемного выхода пиломатериалов из партии хлыстов от уровня варьирования длин досок / В. В. Огурцов, А. П. Чижев, И. С. Матвеева // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. Том 2– Красноярск, СибГТУ, 2004. – 140-142 с.

83 Калитеевский, Р. Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент / Р. Е. Калитеевский. - СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ. 2005. – 480 с.

84 Варфаламеев, Ю. А. Справочник по лесопилению / Ю. А. Варфаламеев, И. С. Дружин, Ю. А. Дьячков [и др.] – М.: «Экология», 1991. – 496 с.

85 Каргина, Е. В., Матвеева, И. С., Огурцов, В. В. Теоретические основы расчёта поставов для распиловки брёвен с пороками формы/ Каргина, Е. В., Матвеева, И. С., Огурцов, В. В.//Хвойные бореальной зоны.-2011.-Т.28.-№1-2.- С.141-145.

86 Каргина, Е. В., Ридель, Л. Н., Матвеева, И. С., Огурцов, В. В. Алгоритм имитационных исследований экономической эффективности лесопильных предприятий/ Каргина, Е. В., Ридель, Л. Н., Матвеева, И. С., Огурцов, В. В.//Хвойные бореальной зоны.-2011.-Т.28.-№1-2.-С.146-153.

87 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева И. С. Выбор критерия оптимизации лесопильного производства/ Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С.//Хвойные бореальной зоны.-2013.-Т.31.-№5-6.-С.67-70

88 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева И. С. Зависимость объёмного выхода пиломатериалов от дробности сортировки брёвен по толщине / Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева И. С.//Хвойные бореальной зоны.-2013.-Т.31.-№5-6.-С.71-75

89 Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С. Влияние эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / Огурцов В. В., Каргина Е. В., Матвеева И. С.//Хвойные бореальной зоны.-2015.-Т.33.-№5-6.-С.283-285.

90 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. Дробность сортировки брёвен по толщине с учётом трудозатрат / Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. // Хвойные бореальной зоны.-2015.-Т.33.-№5-6.-С.279-282.

91 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. Влияние кривизны брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. // Хвойные бореальной зоны.-2016.-Т.34.-№1-2.-С.101-106.

92 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. Влияние случайного смещения брёвен от центра постава пил на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. // Хвойные бореальной зоны.-2016.-Т.34.-№1-2.-С.106-110.

93 Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. Влияние кривизны и эллиптичности брёвен на объёмный выход пиломатериалов и рентабельность их производства / Огурцов, В. В., Каргина, Е. В., Матвеева, И. С. // Хвойные бореальной зоны.-2016.-Т.34.-№3-4.-С.133-137.

94 Огурцов, В.В. 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.

95 Огурцов, В.В. 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.

96 Огурцов, В. В. 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.

97 Огурцов, В.В., Каргина Е.В., Матвеева И.С. 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.

98 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.

99 Архипов И.В. Математические модели и опыт реализации системы планирования раскроя лесосырья // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2014. № 3. С. 82-92.

100 Корельская М.А. Особенности выбора схем раскроя пиловочного сырья в новых экономических условиях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-1. С. 220-224.

101 Мещерякова А.А., Желтоухова Н.А. Современные технологии лесопиления в России // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Vol. 3, № 2-1. С. 404-407.

102 Микрюкова Е.В., Пекменов В.М. Совершенствование раскроя бревен // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-4. С. 319-322.

103 Новоселова И.В. Генерирование раскройных схем пиломатериалов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 2-1. С. 65-67.

104 Огурцов В.В. Теория брусо-развальной распиловки брёвен : монография. Красноярск : СибГТУ, 2013. 233 с. [Ogurtsov V.V. Theory of the cant sawing of the logs : monograph. Krasnoyarsk : SibSTU, 2013, 233 p.].

105 Ткаченко А.А. Компьютерное управление процессом раскроя в лесопильном цехе // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 5. С. 257-259.

106 Фергин В.Р. Развитие теории раскроя пиловочного сырья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018. № 4. С. 107-117.

107 Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Виноградов В.П. Разработка способа продольной распиловки сортиментов и математической модели его реализации // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2010. № 1. С.

108 Агапов, А. И. Оптимизация раскроя пиловочника крупных размеров: монография / А. И. Агапов. – Киров: Вятский государственный университет, 2021. – 407 с.

109 Бегункова, Н. О. Применение информационно-математического моделирования для прогнозирования выхода радиальных пиломатериалов при развальном способе раскроя бревен / Н. О. Бегункова. – Текст: непосредственный // Системы. Методы. Технологии. – 2022. – № 2 (54). – С. 155–159.

110 Беляев, Н. Л. Элементы повышения точности учета сортиментов / Н. Л. Беляев, О. А. Куницкая. – Текст: непосредственный // Повышение эффективности лесного комплекса. – Петрозаводск : ПГУ, 2022. – С. 19–21.

111 Глебов, И. Т. Инновации в лесопилении / И. Т. Глебов, Т. В. Полякова. – Текст: непосредственный // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. – С. 79–83.

112 Глебов, И. Т. Развитие лесопильного производства в России: учебное пособие / И. Т. Глебов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 180 с.

113 Глотова, Т. И. Теоретические аспекты проектирования однопоточных лесопильных цехов малой и средней мощности: монография / Т. И. Глотова, А. А. Лукаш, О. Н. Чернышев. – Москва: Директ-Медиа, 2022. – 168 с.

114 Елисеев, И. В. Оптимизация процесса раскроя необрезных пиломатериалов / И. В. Елисеев, Б. М. Шифрин. – Текст: непосредственный // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического

университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2018. – С. 53–58.

115 Имитационное моделирование следящего электропривода сортировочного конвейера / С. Н. Кладиев, А. Д. Умурзакова, Н. Д. Сарбасова, К. В. Хацевский. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – 2022. – № 2(182). – С. 72–76.

116 Мещерякова, А. А. Автоматизация линий сортировки при помощи 3D-сканеров / А. А. Мещерякова, Б. Х. Бекчанов. – Текст: непосредственный // Современные технологии и автоматизация производства. – Воронеж: ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 34–38.

117 Мухурова, Е. А. Информационные технологии раскрытия бревен на пилопродукцию / Е. А. Мухурова, А. А. Янушкевич, С. В. Шетько. – Текст: непосредственный // Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 184–187.

118 Поляков, С. И. Автоматизация сортировки круглого леса / С. И. Поляков, М. Г. Бородин. – Текст: электронный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 5/4(16-4). – С. 324–328.

119 Прокофьев, Г. Ф. Новые лесопильные модули для использования в гибких автоматизированных лесопильных линиях / Г. Ф. Прокофьев, Н. Ю. Микловцик, А. М. Тюрин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2016. – № 1(349). – С. 131–137.

120 Рациональный раскрой пиловочных бревен / А. А. Тамби, В. Л. Швец, В. Е. Сажин, М. Ф. Лавров. – Текст: непосредственный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2018. – Т. 6, № 5(41). – С. 252–256.

121 Черных, П. П. Справочник по лесопилению: справочник / П. П. Черных. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 168 с.

122 Шварц, Н. «Автоматика-Вектор»: будущее лесопиления – индивидуальный подход к каждому бревну / Н. Шварц. – Текст: электронный

// Журнал «ЛПК Сибири»: отраслевой журнал лесопромышленного комплекса Сибири. – 2022. – № 24 (4) ноябрь. – С. 94–97.

123 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.

124 Ogurtsov, V.V. 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. C. 012015.

125 Ogurtsov, V.V. 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. C. 012016.

126 Riihinen J. Kokorunkokasittelya ja apterauksen optimointia. //Sahamies.-1983. -№7 –s.225-227.

127 Monserud R.A. Estimating Transacted Tree Volumes with the Behre Hiperboloid and Existing Total Volume Equations // For. Sci. 1981. V. 27. №2 p.253-265.

128 Spenser John S.A. A method for estimating operability and location of the timber resourses. New York 1986, 340 p.

129 Bruce D. Butt-Log Profile Equations // Forest Sci. 1987. V. 33. №1 P.

130 Tumenjargal B., Ishiguri F., Takahashi Y., Nezu I., Baasan B., Chultem G., Aiso-Sanada H., Ohshima J., Yokota S.. Bending properties of dimension lumber produced from Siberian larch (*Larix sibirica*) in Mongolia // Journal of Wood Science. 2020. 66 (1). № 17. DOI: [10.1186/s10086-020-01863-6](https://doi.org/10.1186/s10086-020-01863-6).

131 Chang S.J., Gazo R. Measuring the Effect of Internal Log Defect Scanning on the Value of Lumber Produced // *Forest Products Journal*. 2009. 59 (11-12). P. 56-59. DOI: 10.13073/0015-7473-59.11.56.

132 Héberta F., Grondinb F., Plaice J. Mathematical modeling of curve sawing techniques for lumber industry // *Applied Mathematical Modelling*. 2000. Vol. 24, Is. 8-9. P. 677-687. DOI: 10.1016/S0307-904X(00)00009-3.

133 Hinostroza I., Pradenasa L., Parada V. Board cutting from logs: Optimal and heuristic approaches for the problem of packing rectangles in a circle // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 145, Is. 2. P. 541-546. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.047.

134 Ikami Y., Matsumura Y., Murata K., Tsuchikawa S. Effect of Crosscutting Crooked Sugi (*Cryptomeria japonica*) Logs on Sawing Yield and Quality of Sawn Lumber // *Forest Products Journal*. 2010. Vol. 60 (3). P. 244-248. DOI: 10.13073/0015-7473-60.3.244.

135 Koval V. S., Mazurchuk S. M. Optimization the process of sawing lumber taking into account dimension of qualitative characteristics // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та Енергетика АПК*. 2013. No 185-2. P. 146-151.

136 Lin W., Wang J., Wu J., Vallance D. De. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. // *Forest Products Journal*. 2011. No 61 (3). P. 216-224. DOI: 10.13073/0015-7473-61.3.216.

137 Montero R. S., Moya R. Reducing Warp and Checking in 4 by 4 Beams from Small-Diameter Tropical Species (*Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, and *Cordia alliodora*) Obtained by Turning the Pith Inside Out // *Forest Products Journal*. 2015. No 65 (5-6). P. 285-291. DOI: 10.13073/FPJ-D-14-00089.

138 Murara Junior M. I., M. P. da Rocha, Trugilho P. F. Estimate of pine lumber yield using two sawing methods // *Floresta e Ambiente*. 2013. Vol. 20, No.4. P. 556-563. – ref. 7.

139 Petutschnigg A. J., Katz H. A loglinear model to predict lumber quality depending on quality parameters of logs // Holz als Roh – und Werkstoff. 2005. Vol. 63. P. 112-111. DOI: 10.1007/s00107-004-0537-3.

140 Carson J.S. Model verification and validation//Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. – 2002. – pp. 52'58.

141 Trichkov N., Koynov D. Quantitative yield in sawing thin logs of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for production of dimensional lumber without defects // Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design. 2018. No. 2. P. 71-77. – ref. 9.

Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2011615223

«Программа для имитационных исследований рентабельности лесопильного производства с учетом случайной изменчивости их формы и размеров раскраиваемых бревен», («Рентабельность»)

Правообладатель(ли): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет» (RU)

Автор(ы): Каргина Елена Викторовна, Матвеева Ирина Сергеевна, Огурцов Виктор Владимирович (RU)

Заявка № 2011613555

Дата поступления 16 мая 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ

4 июля 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Рисунок А.1 - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ