

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Ю. К. КАЛУГИН

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛУЩЕНОГО ШПОНА**

Монография

**Барановичи
РИО БарГУ
2011**

УДК 674.58.002(075)

ББК 605.304.18я91

К17

А в т о р

Ю. К. Калугин

Р е ц е н з е н т ы:

Т. В. Соловьева, доктор технических наук,
профессор кафедры «Химическая переработка древесины» БГТУ;

В. Б. Снопков, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Технология переработки древесины» БГТУ

Калугин, Ю. К.

К17

Комплексная система ресурсосбережения в производстве лущеного шпона [Текст] : монография / Ю. К. Калугин. — Барановичи : РИО БарГУ, 2011. — 233, [3] с. — 110 экз. — ISBN 978-985-498-436-0.

Раскрываются вопросы экономии сырьевых и энергетических ресурсов посредством оснащения лущильных станков прецизионными системами, использующими параметрический принцип базирования. Предлагаются возможные варианты повышения эффективности оборудования фанерных предприятий за счет внедрения технологий для переработки древесины, основанных на современных средствах преобразования и передачи информации, использующих системы ЧПУ.

Адресуется научным сотрудникам, аспирантам и студентам, инженерно-техническим работникам предприятий и проектных организаций.

УДК 674.58.002(075)

ББК 605.304.18я91

ISBN 978-985-498-436-0

© Калугин Ю. К., 2011

© БарГУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	6
1 Технологические операции и проблемы ресурсосбережения в производстве лущеного шпона	8
1.1 Основные компоненты ресурсосберегающей системы в производстве шпона	8
1.2 Особенности технологических процессов и работы оборудования в производстве лущеного шпона	10
1.2.1 Гидротермическая обработка сырья	10
1.2.2 Оборудование для поперечного раскроя кряжей на сортименты	13
1.2.3 Сортировка фанерных сортиментов	22
1.2.4 Лущение шпона — основная технологическая операция в производстве фанеры	24
1.2.5 Конструкция и принцип работы лущильных станков и линий для комплексной переработки древесины	30
1.3 Способы повышения качества лущеного шпона	36
1.4 Анализ возникновения потерь древесины при лущении шпона, вызванных неточностью базирования	38
1.5 Повышение эффективности поперечного раскроя кряжей на сортименты	42
1.6 Влияния параметров сырья на объемный выход шпона	45
2 Особенности учета и измерения параметров фанерного сырья	50
2.1 Особенности учета и приемки сырья на фанерных предприятиях	50
2.1.1 Характеристики фанерного сырья и особенности его учета	54
2.2 Планирование образования и использования отходов фанерного производства	63
2.3 Применение параметрических моделей для точного определения геометрических параметров и размеров фанерных кряжей и сортиментов	66
2.3.1 Математические методы описания поверхности круглых лесоматериалов	66
2.3.2 Моделирование круглых лесоматериалов	72
2.4 Влияние пороков фанерного сырья на объемный выход полезной продукции	78
2.4.1 Методы измерения основных видов пороков формы ствола	78

2.4.2	Разновидности пороков, определяющих качественный и количественный выход шпона	82
2.4.3	Ложное ядро в березовом фанерном сырье и влияние его на выход шпона	84
2.4.4	Геометрические параметры и пороки фанерного сырья	88
2.4.5	Визуальная оценка ложного ядра фанерных сортиментов	96
2.5	Применение высокоточных методов контроля и измерения пороков, учитываемых в производстве лущеного шпона	100
2.5.1.	Ультразвуковые методы измерения толщины коры и пороков фанерных сортиментов	100
2.5.2.	Метод измерения кривизны фанерных сортиментов на основе анализа полезной зоны его сечений	102
3	Повышение точности измерительных комплексов и систем в производстве шпона	106
3.1	Сравнительный анализ сенсорных преобразователей размеров и линейных перемещений	106
3.1.1	Оптические датчики — современные высокоточные приборы для измерения координат поверхности	108
3.1.2	Применение ультразвуковых датчиков для измерения координат поверхности сортиментов	109
3.2	Координатные сканирующие устройства — основа для формирования параметрических моделей фанерных сортиментов	123
3.2.1	Измеритель параметров круглых лесоматериалов на основе инфракрасных преобразователей	123
3.2.2	Системы сканирования круглых лесоматериалов с использованием рентгеновской компьютерной томографии	127
3.2.3	Светотеневой измеритель параметров круглых лесоматериалов	130
3.2.4	Перспективы координатных методов сканирования рельефных поверхностей	133
3.2.5	Формирование трехмерной модели сортимента с помощью сканирующих устройств с сенсорными датчиками	134
3.3.	Параметрическое моделирование геометрической формы сортиментов	136
3.3.1	Задача параметрического моделирования и основные критерии модели	136
3.3.2	Программная реализация метода формирования моделей	137
3.3.3	Измерение полезной зоны круглых лесоматериалов для получения готовой продукции	143
3.3.4	Методы измерения кривизны сортиментов	145
3.3.5	Исследование моделей сортиментов, сформированных с учетом толщины коры	149
4	Прецизионное базирование сортиментов — основа рационального использования фанерного сырья	152
4.1	Структурные зоны переработки фанерных сортиментов и их изменения, связанные с точностью базирования	152

4.2 Способы механического и электронного базирования сортиментов и их реализация	154
4.3 Способ параметрического базирования с коррекцией ошибок	166
4.4 Сравнительный анализ способов базирования фанерных сортиментов ..	173
5 Повышение эффективности технологического оборудования в производстве сырого лущеного шпона	182
5.1 Применение оборудования для сканирования и оцифровывания координат поверхности фанерных кражей и сортиментов	182
5.1.1 Принципы построения измерительных комплексов и систем автоматизированного учета сырья в деревообрабатывающих производствах	182
5.1.2 Конструкция и принцип работы устройства для сканирования координат поверхности кражей и сортиментов	186
5.1.3 Устройство позиционирования фанерных сортиментов с использованием ЧПУ	196
5.2 Комплекс технологического оборудования для прецизионного базирования фанерных сортиментов	199
5.2.1 Конструкция и принцип работы комплекса для базирования сортимента	199
5.3 Повышение качества шпона при базировании	203
5.4 Повышение эффективности работы лущильных станков	209
5.5 Технологические особенности эксплуатации электрооборудования лущильных станков	212
5.6 Автоматизированный электропривод лущильных станков	214
5.7 Влияние точности базирования на потребление электроэнергии	216
5.7.1 Источники экономии ресурсов при применении частотных преобразователей	217
5.8 Применение ресурсосберегающей технологии на участке лущения шпона	219
5.9 Сравнительный анализ технологических процессов лущения шпона	223
Заключение	226
Список использованных источников	227

ВВЕДЕНИЕ

Проблема экономии древесного сырья является актуальной для деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь, в том числе для фанерного производства. Опыт работы предприятий показал, что пороки фанерного сырья создают ограничения при его обработке и приводят к увеличению количества отходов. Отходы и потери в фанерном производстве составляют более половины переработанной древесины (от 59 до 68% для различных сортов фанеры). Их образование происходит на различных стадиях производства: поперечной распиловки кряжей на сортименты, лущении шпона, последующих операциях переработки. Наибольшее количество отходов образуется при лущении шпона (40...45%).

Одной из основных причин возникновения отходов древесины является неточное базирование сортиментов. Возникновение ошибки базирования зависит от геометрических пороков формы ствола и приводит к уменьшению объемного выхода шпона, что характерно для механических базирующих устройств, применяемых на фанерных предприятиях. Работа этих устройств основана на ориентации сортимента по двум сечениям, которые находятся на определенном расстоянии друг от друга. Участок ствола, расположенный между ними при базировании, не учитывается, что приводит к неточностям при установке сортимента в шпиндель лущильного станка.

Важным направлением в решении проблемы экономии древесного сырья, наряду с внедрением новых технологий, является разработка методов управления оборудованием для лущения шпона на основе компьютерных систем. Применение современных устройств для оцифровывания поверхностей круглых лесоматериалов и параметрических систем трехмерного моделирования позволит производить эффективную раскряжевку сырья с учетом максимального использования объемов, значительно увеличить точность ориентации сортиментов при лущении, разработать и создать координатные устройства, обеспечивающие увеличение объемного выхода шпона и экономии фанерного сырья.

Для всех отраслей деревообрабатывающей промышленности самыми крупными статьями затрат являются расходы на доставку и приобретение сырья, затраты на топливо и энергию. Суммарная величина этих затрат достигает 40...45%. Немаловажное значение имеет состав и качество сырья, поступающего на предприятия.

На участке предварительной подготовки сырья и поперечного распиливания на сортименты возникают проблемы, которые связаны с измерением и учетом формообразующих пороков. Потери древесины на этих этапах производства, как правило, связаны с неточностями при измерении геометрических параметров кряжей. Недостаточная точность измерений и малая степень автоматизации этих участков

впоследствии значительно сказываются на качестве продукции и показателях использования всего объема древесины.

По этой причине в монографии особое внимание уделено разработке методов определения геометрических характеристик сортиментов, а также приводятся результаты исследования способов измерения и учета пороков формы ствола и строения древесины. Рассматриваются перспективы применения современных оптических и ультразвуковых датчиков, применяемых для контроля и измерения геометрической формы сортиментов и кражей, а также механических свойств древесины и внутренней гнили, приводящих к потерям при переработке (лущении сортиментов).

Применение разработанных прецизионных базирующих устройств координатного типа позволит добиться не только повышения объемного выхода шпона, но и экономии энергоресурсов при выполнении последующих операций технологического процесса производства шпона и фанеры. Решение этой задачи может быть достигнуто путем усовершенствования существующей технологии, внедрения компонентов информационных систем или путем создания новых технологий, основанных на современных средствах преобразования и передачи информации.

Все вышеперечисленные направления соответствуют принятой стратегии технологического развития Республики Беларусь, в соответствии с которой, «к основным тенденциям развития отрасли можно отнести: усиление взаимодействия между различными технологиями, распространение современных высоких технологий в секторах производственной сферы; растущее значение взаимосвязи между различными научными направлениями. Реализация стратегии направлена на решение следующих задач: модернизация традиционных отраслей экономики в целях увеличения производительности труда, снижения энерго- и материалоемкости, разработка технологий, позволяющих наладить выпуск конкурентоспособной на мировых рынках продукции; создание безопасных условий труда на рабочих местах» [139].

Решение этих задач требует глобальной перестройки всего предприятия, а это не всегда возможно. В то же время совершенствование технологических процессов на некоторых участках производства позволит частично решить эту проблему и значительно уменьшить потери древесины и энергетические затраты на ее переработку. В соответствии с материалом, представленным в монографии, наибольшие потери ресурсов возникают при изготовлении сырого лущеного шпона.

Перспективным направлением в решении проблемы экономии древесного сырья и энергоресурсов является разработка комплексной системы ресурсосбережения, которая на разных этапах производства позволит отследить предполагаемые потери и уменьшить расход ресурсов. Применение современных устройств для оцифровывания поверхностей круглых лесоматериалов и параметрических систем трехмерного моделирования значительно увеличит точность измерения параметров сырья, а также создаст дополнительные условия для использования оптимальных схем поперечной распиловки кражей и повышения точности базирующих устройств с учетом максимального использования объема полезной древесины.

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ И ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛУЩЕНОГО ШПОНА

Процесс изготовления лущеного шпона включает доставку древесины на предприятие, гидротермическую доработку, раскрой кряжей на сортименты, лущение и операции рубки и сушки. На каждом этапе технологического процесса образуются отходы, вызванные неточностью измерений или недостаточно эффективной работой оборудования.

Рассмотрение проблемных вопросов для каждой производственной операции позволит сделать выбор направлений, способствующих разработке методов и средств ресурсосбережения.

1.1 Основные компоненты ресурсосберегающей системы в производстве шпона

При комплексном решении проблем экономии сырья и энерго-ресурсов возникает необходимость в рассмотрении каждой операции с точки зрения уменьшения потерь.

На участке предварительной сортировки, при распиливании кряжей на сортименты, возникают проблемы, связанные с измерением и учетом геометрической формы кряжей и сортиментов, пороков строения древесины и формообразующих пороков. Чтобы произвести оптимальную раскряжевку, необходимо учесть индивидуальные особенности кряжей. Измерение геометрических параметров кряжей производится обычно визуально или с помощью ручного инструмента. Недостаточная точность и малая степень автоматизации этих участков впоследствии значительно сказывается на качестве продукции и объемных показателях использования древесины. К примеру, повышение точности измерения числовых

значений кривизны позволит не только выполнить качественную распиловку кряжей на сортименты, их сортировку, но и улучшить работу оборудования.

Структура ресурсосберегающей системы в производстве лущеного шпона показана на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 — Структурная схема взаимодействия элементов при разработке ресурсосберегающей системы, применяемой в производстве лущеного шпона

В соответствии со схемой максимальная эффективность производства шпона достигается за счет комплекса мер по повышению точности учета сырья и измерения его геометрических параметров, определению полезной зоны перерабатываемых сортиментов с учетом их пороков и применению современных базисующих устройств с ЧПУ. Начальным звеном ресурсосберегающей системы является учет и сортировка сырья, поступающего на

предприятия, при этом осуществляется не только измерение общего объема древесины, из которой впоследствии будет изготовлена продукция, но и определение ее полезной составляющей. Такой вид сортировки уже на подготовительном этапе производственного процесса позволит полностью исключить расход энергии на переработку сортиментов низкого качества.

1.2 Особенности технологических процессов и работы оборудования в производстве лущеного шпона

1.2.1 Гидротермическая обработка сырья

Древесина не обладает в достаточной степени пластическими свойствами, чтобы изменить свою первоначальную форму под действием сил резания. Отдельные ее элементы, образующие слои, после срезания при лущении стремятся принять форму сортимента, в то время как лист шпона должен быть плоским, поэтому волокнам древесины необходимо до лущения придать пластичность. Гидротермическая обработка сырья служит для повышения пластичности древесины. При лущении это способствует получению шпона с гладкой поверхностью и меньшим количеством трещин на его лицевой стороне.

Пластичность древесины зависит от ряда факторов, главными из которых являются: пористость древесных тканей, возраст древесины, ее влажность и температура [62; 87]. Гидротермическую обработку сырья проводят в варочных бассейнах открытого непроходного типа. Бассейн состоит из 18 ячеек габаритами $6,3 \times 11,37 \times 3,2$ м каждая. Объем ячейки 229 м^3 . Объем древесины (с учетом коры), загружаемой в ячейку, составляет около 100 м^3 . В качестве теплоносителя используется пар от ТЭЦ. Чистка ячеек бассейна осуществляется один раз в год в летнее время.

Для сокращения потерь тепла ячейки закрываются крышками, которые одновременно служат для подтопления бревен в ячейке. Загрузка и выгрузка бревен из ячейки производится козловыми кранами типа ККЛ - 12,5 с рейферным захватом. С целью возмещения потерь воды, во время тепловой обработки, за счет

впитывания древесиной и стекания с бревен при выгрузке, предусмотрена подпитка ячеек свежей водой и конденсатом пара.

Режим обработки древесины — мягкий, с температурой воды 40°C. Данные по режиму прогрева представлены в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 — Режимы обработки фанерного сырья (береза)

Температура воды, °С	Продолжительность прогрева, ч	
	летом	зимой
35...40	24	48

Для предотвращения остывания воды и сырья бассейны закрываются крышками. Сырье после прогрева подается на раскаточный стол, затем поштучно, с помощью цепного транспортера, — в главный производственный корпус.

В случае простоя оборудования нижнего производственного корпуса выложенное сырье необходимо убрать в бассейн или подать в корпус для предотвращения остывания, особенно в зимнее время.

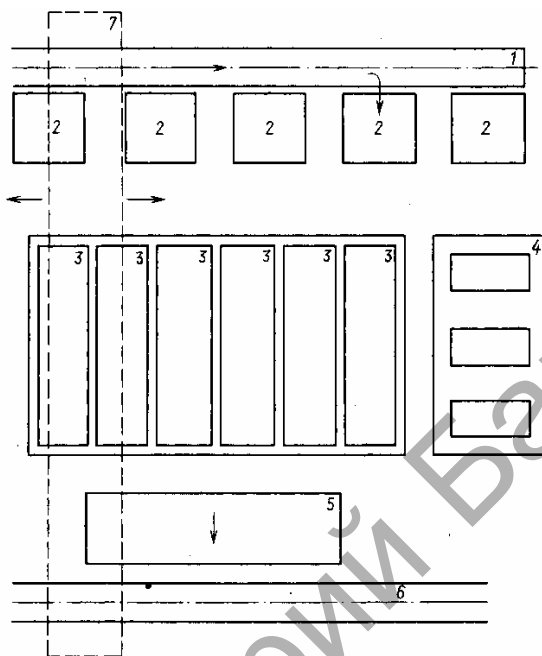
Гидротермическая обработка фанерного сырья — одна из основных технологических операций в производстве фанеры. Важность этого технологического процесса подтверждается и многочисленными работами, в которых рассмотрены различные вопросы, начиная от решения нестационарных задач теплопроводности, анализа влияния прогрева фанерного сырья на качество шпона и кончая оборудованием для гидротермической обработки сырья [59; 60].

В фанерной промышленности тепловую обработку сырья ведут в основном при мягких режимах прогрева. С этой целью применяют открытые бассейны различных конструкций, оснащенные вспомогательными механизмами, транспортными средствами, кранами и т. д. [97].

На рисунке 1.2 приведена одна из схем расположения механизмов и оборудования на участке гидротермической обработки фанерного сырья, позволяющая обеспечить все необходимые технологические требования и решение задачи автоматизации этого процесса.

Бассейны обычно состоят из нескольких секций 3, которые закрываются крышками.

Фанерное сырье подается на продольный конвейер 1, где сортируется по диаметру на две-три группы с адресацией в соответствующий карман-накопитель 2. По мере достижения определенного объема сырья в одном из карманов-накопителей 2, с помощью



1 — продольный конвейер; 2 — накопитель; 3 — секции бассейна; 4 — площадка; 5 — раскатчик; 6 — конвейер; 7 — подъемно-транспортное средство

Рисунок 1.2 — Схема размещения оборудования на участке гидротермической обработки древесины

подъемно-транспортного средства 7, бревна передается в одну из загружаемых секций 3. После окончания прогрева фанерное сырье выгружается на раскатчик 5, который обеспечивает поштучную выдачу лесоматериалов на продольный конвейер 6, подающий сырье в цех для переработки. В качестве критерия окончания процесса прогрева древесины принято достижение температуры на поверхности карандаша 20°C.

Для ресурсосбережения необходимо использовать систему, основанную на алгоритме оптимального управления. Алгоритм управления процессом на участке определяется последовательностью операций, которых существует несколько вариантов (с учетом зарубежных технологических схем):

1) загрузка фанерного сырья в секцию без воды — заполнение секции водой — включение пара — выход на заданный температурный режим — прогрев фанерного сырья (обеспечение критерия управления) — отключение подачи пара — слив воды — выгрузка фанерного сырья из секции;

2) загрузка фанерного сырья в секцию с водой — выход на заданный температурный режим — прогрев фанерного сырья (обеспечение критерия управления) — отключение пара — выгрузка фанерного сырья;

3) схема аналогична первому варианту, но с предварительным подогревом воды;

4) схема аналогична второму варианту, но фанерное сырье предварительно хранят в воде с температурой от 3 до 6°C (например, в озере или дополнительном бассейне).

Выход на заданный режим, поддержание требуемых технологических параметров в течение определенного времени и отключение по окончании времени пара — основные операции, выполняемые системой управления. Такие операции, как включение пара, слив и заполнение водой секции, включение насоса, обеспечивающего искусственную циркуляцию воды в секции, и ряд других, выполняются оператором в зависимости от последовательности операций, принятых для данной технологической схемы участка гидротермической обработки фанерного сырья.

1.2.2 Оборудование для поперечного раскряж на сортименты

Для переработки сырья в лущеный шпон кряжи распиливают на сортименты определенной длины. При этом применяют групповой и индивидуальный методы. При групповой раскряжке все лесоматериалы, независимо от качества, раскраивают по длине на многопильных станках по заранее заготовленной схеме. Этот способ характеризуется высокой производительностью, но не обеспечивает высокого качества сортиментов [59; 100].

При индивидуальной разделке каждый кряж распиливают с учетом имеющихся в нем пороков, что позволяет получить более

качественные сортаменты, а в последующем — более высокий выход шпона.

Для подачи сырья к станку и транспортирования сортаментов после разделки применяют продольные цепные и роликовые конвейеры. В качестве подающего используют продольный конвейер, так как он лучше воспринимает ударные нагрузки при сбросе на него лесоматериалов. В качестве приемного применяют роликовый конвейер, так как ролики могут проскальзывать под лесоматериалом при контакте его с мерным упором.

Мерные упоры более надежны в работе, если они расположены снизу и приводятся в движение гидро- или пневмоцилиндрами, установленными непосредственно под упорами.

Используют прижимные устройства самых разнообразных конструкций, но лучше, если прижимные рычаги (лапы) размещаются до и после пильного диска. Наиболее надежна гидравлическая система привода, так как пневмопривод при низких температурах может выйти из строя из-за замерзания конденсата.

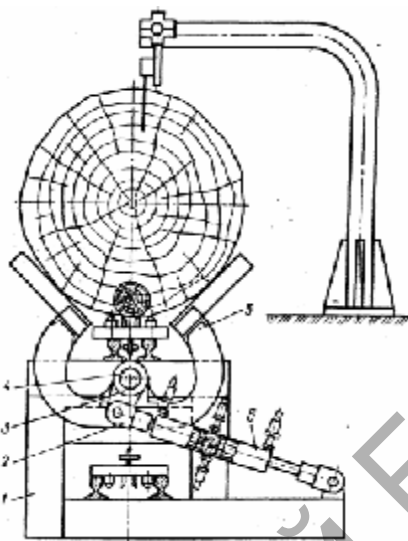
Опилки удаляются пневмотранспортом, ленточным или скребковым конвейером. Отходы от торцовки убирают ленточными конвейерами [68; 84].

При выполнении окорки, разделки и гидротермической обработки лесоматериалов неизбежны операции, связанные с изменением движения лесоматериалов с продольного на поперечное и наоборот. Для этих целей используют различные по конструкции и принципу действия сбрасыватели, накопители и механизмы поштучной выдачи лесоматериалов.

Разработанный Зеленодольским ПКТБ двусторонний гидравлический сбрасыватель (рис. 1.3) состоит из рамы 1, на которой смонтированы все узлы. Шток 2 гидроцилиндра 6 связан рычагом 3 с горизонтальным валом 4, на котором закреплены секторы 5.

Оборудование для раскряжевки. Наибольшее распространение для распиловки кряжей на сортаменты получили балансирные и маятниковые агрегаты, (АПЗ, АЦ-1, АЦ-3С, типа ФП и др.).

Автоматическая балансирная пила АЦ-1 является агрегатным станком, включающим круглопильный станок, подающий цепной конвейер, приемный роликовый стол и пульт управления. Роликовый стол оборудован системой измерения длин и механизмом удаления



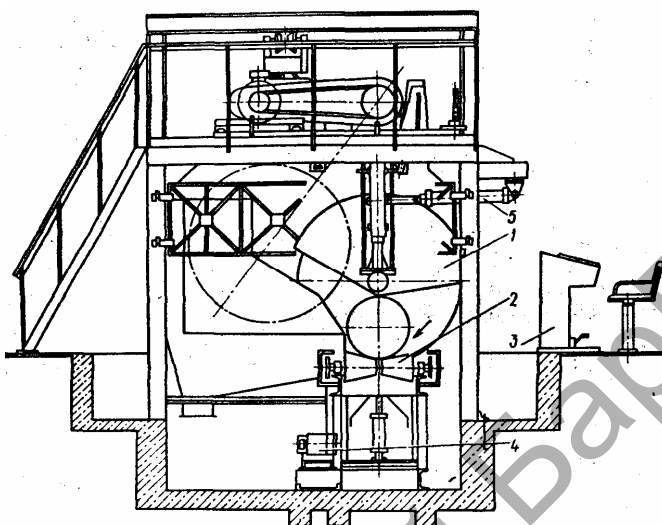
1 — рама; 2 — шток; 3 — рычаг; 4 — вал;
5 — сектор; 6 — гидроцилиндр

Рисунок 1.3 — Сбрасыватель
гидравлический двухсторонний

отпиленных сортиментов. При постоянной длине сортиментов пила работает автоматически, при выпиливании сортиментов различных длин — полуавтоматически. Балансирная пила имеет два прижимных, рычага. Скорость надвигания пилы регулируется автоматически в зависимости от толщины сырья.

В пильный агрегат Зеленкова (АПЗ) входят: балансирный круглопильный станок, прижимное устройство, роликовый подающий конвейер и роликовый приемный конвейер, скребковые конвейеры для удаления опилок и обрезков, пульт управления. Агрегат оборудован пневмоцилиндрами для надвигания пилы на кряж, привода мерных упоров и привода зажимного устройства [59].

Пильные агрегаты ФП-139 (рис. 1.4) и ФП-220 предназначены для разделки фанерного сырья с предварительной торцовкой, а также калибровкой отдельных сортиментов в размер. Агрегаты аналогичны по конструкции и отличаются размерами пильных дисков и габаритными размерами [59; 68; 99]. Агрегаты оснащены маятниковой пилой 1,



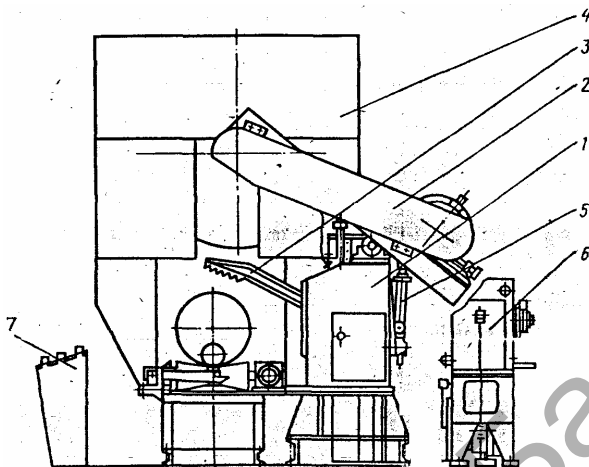
1 — маятниковая пила; 2 — конвейер; 3 — пульт управления;
4 — привод конвейера; 5 — пневмоцилиндр подачи пилы

Рисунок 1.4 — Круглопильный станок ФП-139

подающим и приемным конвейерами 2 с приводом 4 и пультом управления 3. Маятниковая пила имеет пневмоцилиндр 5 подачи. Маятник телескопический позволяет проводить натяжение и смену ремней. На раме подающего конвейера установлены два рычажных пневматических устройства для зажима сырья при разделке.

Система отмеривания сортимента по длине представляет собой ряд пневматических упоров, управляемых с пульта. Зажим сырья синхронизирован с подачей пилы. После пропила маятник с пилой автоматически возвращается в исходное положение.

Круглопильный балансирный станок ЦФК6А (рис. 1.5) имеет сварную станину. Механизм пиления 2 состоит из сварной рамы с электродвигателем и пильным валом. Пильный вал оснащен колодочным тормозом, работающим от специального гидроцилиндра. Надвигание пилы осуществляет гидроцилиндр 5. Для прижима сырья в период пиления предусмотрены два рычага 3, надвигание которых производится от качающейся рамы через гидроцилиндр-регулятор и дифференциальный механизм.



1 — станина; 2 — механизм резания; 3 — прижимные рычаги;
4 — ограждение пилы; 5 — гидроцилиндр надвигания пилы;
6 — гидростанция; 7 — пульт управления

Рисунок 1.5 — Круглопильный балансирующий станок
ЦФК6А

Этим обеспечивается независимый прижим разделяемого материала обоими рычагами, что особенно необходимо при разделке кривых, сбежистых и сучковатых кряжей. Скорость надвигания пилы автоматически изменяется в зависимости от толщины сырья.

Инструмент. В круглопильных станках для разделки хлыстов или кряжей на сортименты используют пилы для поперечной распиловки (тип 2 по ГОСТ 980-80) диаметром 1 000...1 500 мм, с центральным отверстием диаметром 50 мм; толщина пил $b = 4...5,5$ мм; число зубьев $z = 72...96$ или 120. Геометрия режущих зубьев характеризуется линейными и угловыми параметрами. К линейным параметрам относятся шаг и высота зубьев, радиус округления впадины. Шаг зубьев t_3 — расстояние между вершинами двух смежных зубьев; Высота зуба h_3 — расстояние между вершиной и дном впадины зуба, измеренное по радиусу пилы и равно $(0,6...0,9)t_3$. Радиус округления впадины зуба равен $(0,15...0,30)t_3$.

При поперечном пилении боковые режущие кромки зуба перерезают волокна древесины и формируют поверхности пропила,

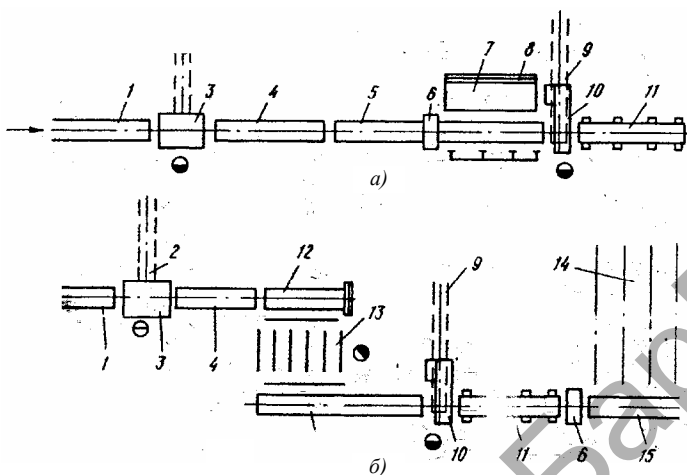
передняя поверхность зуба скалывает подрезанные волокна и формирует дно пропила. Для обеспечения удовлетворительных условий стружкообразования при поперечном пилении боковые режущие кромки выдвигают вперед по ходу пилы за счет применения нулевого или даже отрицательного переднего угла. При этом угол заточки боковых режущих кромок зуба, измеренный в нормальном сечении *A-A*, должен быть меньше 90° . Это условие достигается за счет косой заточки зубьев по передней и задней поверхностям, т. е. лезвия получают положительный передний угол благодаря углам косой заточки по передней поверхности [2; 39].

Кряж по конвейеру перемещается до места сброса. С пульта или от флажкового упора подается сигнал на включение соответствующего гидрораспределителя. Шток 2 гидроцилиндра 6 вращает вал 4 в ту или иную сторону. Кряж сбрасывается на правую или левую сторону конвейера. Толщина сбрасываемых кряжей 14...100 см, длина — 1,6...6,5 м.

Выбор варианта планировки участка окорки-разделки сырья зависит от его качественных показателей, а также от расположения производственного корпуса относительно склада сырья, цеха тепловой обработки, железнодорожной ветки и т. д. Выбор оборудования и транспортных средств также определяется способом разделки, видом поставляемого сырья, толщиной сырья.

В большинстве случаев круглопильные станки располагают в одну поточную автоматизированную линию с окорочным станком (рис. 1.6, *a*), на которой осуществляют следующие операции: прием кряжей на конвейер 1; окорка кряжей; подача кряжей к металлоискателю 6; обнаружение кряжей с металлическими включениями и сброс их на специальную площадку 7; удаление металла из кряжей и возврат их на конвейер 5 балансирной пилы; подача кряжей на пилу 10; торцовка и разделка кряжей на сортименты; подача сортиментов конвейером 11 в производство; удаление отходов от окорочного и круглопильного станков конвейерами 2 и 9.

Компоновка оборудования по такой схеме создает жесткий режим работы, так как любые перебои в подаче кряжей и остановка того или иного участка приводят к вынужденной остановке всей линии и, как следствие, к уменьшению ее производительности [11]. Кроме того, удаление металла из кряжей связано с необходимостью выделения для этой цели значительной по размерам площадки, а также применения больших усилий в процессе удаления металлических включений.



a — поточно-автоматизированная линия с окорочным и разделочным станками; *б* — то же со столом-накопителем и поперечным конвейером;
 1 — подающий конвейер окорочного станка; 2 — конвейер удаления коры от окорочного станка; 3 — окорочный станок; 4 — приемный конвейер окорочного станка; 5 — конвейер балансирующей пилы; 6 — металлоискатель; 7 — площадка для сброса кряжей с металлом; 8 — ограждение площадки; 9 — конвейер удаления отходов от пилы; 10 — балансирующая пила; 11 — приемный роликовый конвейер-мерник; 12 — роликовый конвейер; 13 — стол-накопитель; 14 — поперечный цепной конвейер; 15 — распределительный роликовый конвейер

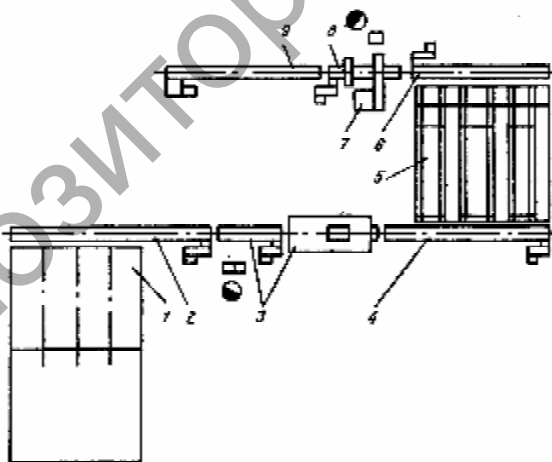
Рисунок 1.6 — Схема расположения оборудования на участке окорки-разделки.

Более совершенной является установка станков (рис. 1.6, *б*). На линии осуществляются следующие операции: прием кряжей на конвейер 1 окорочного станка 3; окорка кряжей; сброс кряжей на стол-накопитель 13; поштучная выдача кряжей на продольный цепной конвейер; подача кряжей на круглопильный станок; торцовка и разделка кряжей на сортименты определенного размера; подача сортиментов к металлоискателю 6 и обнаружение металлических включений; сброс сортиментов с металлическими включениями на поперечный конвейер 14; удаление включений и возврат сортиментов на распределительный роликовый конвейер 15; подача сортиментов по потоку.

При данной схеме [80; 85] имеется возможность подавать кряжи на пилу один за другим, т. е. увеличивать коэффициент заполнения подающего конвейера пилы. Небольшой буферный запас на столе-накопителе значительно смягчает режим работы линии. Упрощается и облегчается операция по удалению металлических включений, так как в этом случае приходится оперировать не кряжами, а сортаментами.

По схеме (см. рис. 1.6, б), смонтированы линии окорки и разделки спичечного сырья СпЛОРС и фанерного сырья ЛОРС [59].

Линия СпЛОРС (рис. 1.7) состоит из следующих основных узлов: разобшителя 1 модели ЛО-108, предназначенного для приема пачки кряжей и поштучной их выдачи; продольного конвейера 2; окорочного станка 3 ОК-63Ф-2; приемного конвейера 4 со сбрасывателями; поперечного конвейера 5, предназначенного для промежуточного накопления кряжей и поштучной их выдачи; продольного конвейера 6; круглопильного станка 7 ЦФК-6А; конвейера-мерника 8; продольного конвейера 9, предназначенного для выноса сортаментов на внутрицеховой транспорт.



- 1 — разобшитель; 2, 4, 6, 9 — продольные конвейеры;
3 — окорочный станок; 5 — поперечный конвейер;
7 — окорочный станок; 8 — измерительный конвейер

Рисунок 1.7 — Линия окорки и разделки СпЛОРС

На линии СПЛОРС можно обрабатывать сырье длиной 2...6,5 м и толщиной 16...53 см. Длина получаемых сортиментов 0,5...0,9 м. Суммарная мощность 128 кВт. Линию обслуживают два оператора (без учета рабочих, занятых на разобшителе). Расчетная производительность линии при средней длине кряжей 4 м толщиной 30 см и длине выпиливаемых сортиментов 0,9 м составляет $15 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

В разобшителе погрузчиком или краном загружается пачка кряжей. Поштучно они поступают на продольный конвейер и движутся к окорочному станку. Окоренное сырье попадает на конвейер с гравитационным сбрасывателем, а затем на поперечный конвейер, где может создаваться запас сырья. В случае полной загрузки поперечного конвейера окорочный участок линии останавливается. С поперечного конвейера кряжи по одному поступают на продольный конвейер и затем подаются к круглопильному станку. Передний торец кряжа торцуется, кряж доходит до упора конвейера-измерителя и останавливается. Прижимные рычаги фиксируют кряж, и сортимент отпиливается. Затем пила и прижимные рычаги поднимаются, упор конвейера-мерника возвращается в исходное положение, и отпиленный сортимент попадает на ленточный конвейер. Цикл повторяется. Отрезки кряжей и забракованные при разделке сортименты сбрасываются специальным механизмом в контейнер. Линия работает в полуавтоматическом режиме, и каждый механизм может работать в наладочном режиме.

При необходимости разобшителем *I* может быть вынесен на склад сырья [40; 43; 59]. В этом случае должен быть смонтирован дополнительный продольный конвейер для подачи кряжей на конвейер.

В состав линии окорки и разделки фанерного сырья ЛОРС дополнительно входит металлоискатель ДМИ-65П. На линии обрабатывают кряжи и сортименты длиной 1,33...8,50 м, толщиной 14...53 см. Конечная длина сортиментов может быть 1,33; 1,63; 1,93; 2,23; 2,57 м. Общая установленная мощность составляет 118 кВт. Габаритные размеры линии 38 000 × 15 000 × 2900 мм. Линию обслуживают два оператора. Она может работать в полуавтоматическом и ручном режимах.

В окорочном станке для центрирования короткомерных сортиментов предназначены каретки, перемещающиеся в вертикальной

плоскости, которые снабжены дисковыми неприводными вальцами, предотвращающими проворачивание кряжа или сортимента.

Стол-накопитель, предназначенный для передачи сортиментов или кряжей от окорочного станка к круглопильному, состоит из продольного роликового конвейера со сбрасывателем, бункерной горки, механизма поштучной выдачи и продольного цепного конвейера. При движении сортимент или кряж воздействуют на флажок конечного выключателя, давая команду на сброс. Буферная горка в виде наклонного стола имеет механизм поштучной выдачи бревен; она снабжена устройством, позволяющим ориентировочно измерить длину кряжа и передать сигналы на пульт управления линией. Отпиленный сортимент продвигается по конвейеру и проходит вдоль металлоискателя. При наличии включений металла сортимент сбрасывается [97; 98].

1.2.3 Сортировка фанерных сортиментов

Сортировка полученных после раскряжевки различных сортиментов является одной из наиболее трудоемких операций технологического процесса лесопромышленных предприятий.

Необходимость в этой операции возникает в связи с тем, что при раскряжевке хлыстов получается большое количество сортиментов, отличающихся друг от друга размерами, качеством, породой древесины и назначением.

В зависимости от сортиментного плана предприятия [42; 92; 97] и его лесосечного фонда число типоразмеров сортиментов может достигать 30. Часть этих сортиментов отправляется потребителям в круглом неокоренном виде и является готовой товарной продукцией лесопромышленного предприятия. К таким сортиментам относятся сырье для производства спичек и фанеры, пиловочные бревна, судостроительные бревна, сырье для изготовления опор связи и высоковольтных энергосетей и т. д.

Часть сортиментов используется как сырье для переработки на самом лесопромышленном предприятии. К ним относятся бревна для выработки балансов, рудничная стойка и т. д. Сортименты первой группы, отправляемые потребителям в круглом неокоренном виде, транспортируют к местам их укладки в штабеля, из которых их

грузят на подвижной состав железных дорог общего пользования или в суда и баржи.

Сортименты второй группы, подлежащие дальнейшей переработке на самом предприятии, транспортируют к вторичным линиям цехов.

В качестве транспортирующих механизмов обычно используют продольные конвейеры, снабженные различного вида сбрасывателями для разгрузки сортиментов с сортировочного конвейера в заданных местах в карманы-накопители или на транспортные устройства вторичных линий.

Таким образом, в общем виде сортировочное устройство представляет собой продольный конвейер *СТ* (рис. 1.8), приводимый в движение приводной станцией *ПС* и снабженный сбрасывателями $Cб_1 \dots Cб_n$, количество которых соответствует числу мест сбрасывания, и натяжной станцией *НТ*.

При автоматизации управления сортировочный конвейер снабжают управляющим устройством *УУ*, выдающим командные сигналы на включение того или иного сбрасывателя в момент, когда данный сортимент достигнет заданной точки на конвейере [59].

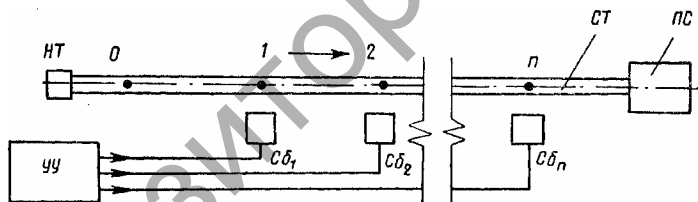


Рисунок 1.8 — Общая схема сортировочного устройства

Устройства управления, в зависимости от условий сортировки материалов и принципа работы, отличаются друг от друга. Если круглые лесоматериалы сортируют только по диаметру и длине сортиментов, то управление сортировкой может быть осуществлено с помощью автономных систем, снабженных измерительными устройствами (установленными в местах сброса сортиментов) и выдающих команду сбрасывателям только в том случае, если данный сортимент имеет размеры, соответствующие заданным.

Автономные устройства управления сортировочным конвейером могут быть применены и при сортировке лесоматериалов по качественным признакам. Однако из-за отсутствия датчиков, реагирующих на качественные признаки (например, породу, сорт и т. д.), такие устройства могут быть использованы только в том случае, если на самих сортаментах, тем или иным способом, будут нанесены метки (коды), соответствующие местам их сбрасывания с сортировочного конвейера [59].

Более универсальными являются централизованные системы управления сортировочными конвейерами, в которых адрес места сброски устанавливается или оператором, или с помощью датчиков, определяющих «сортировочные признаки» в момент, когда сортимент находится в начале конвейера. Устройство управления определяет, когда сортимент достигнет заданной точки сбрасывания и выдаст команду сбрасывателю. Слежение за перемещением сортимента по транспортеру может быть непрерывным, когда в любой момент времени в управляющем устройстве фиксируется положение сортимента на транспортере, либо дискретным, когда учитывается порядок поступления сортиментов на конвейер и порядок их сброса с транспортера. В последнем случае состояние устройства управления изменяется только в моменты прохождения сортиментами фиксированных точек конвейера, обычно совпадающих с местами сбрасывания.

1.2.4 Лушение шпона — основная технологическая операция в производстве фанеры

Лушением называется процесс резания древесины в плоскости, параллельной направлению волокон, при котором сортимент совершает вращательное движение, а лущильный нож — поступательное движение на сортимент [5; 11; 59].

Из-за жесткой кинематической связи, существующей между вращающимся сортиментом и поступательным движением лущильного ножа, закрепленного в суппорте, след, описываемый режущей кромкой ножа в сортименте, представляет сложную кривую (рис. 1.9).

Если режущую кромку ножа установить на уровне оси шпинделей (точка С), то кривую, по которой движется кромка ножа, называют спиралью Архимеда. Ширина ленты шпона равна длине сортимента, а общая длина ее зависит от диаметра сортимента и толщины шпона.

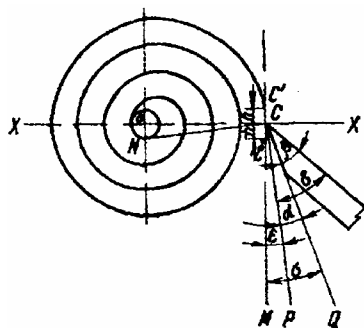


Рисунок 1.9 — Схема лущения сортимента

Лущильный нож представляет собой стальную пластину со срезанной под определенным углом кромкой, образующей режущее лезвие. Такую кромку называют фаской. Фаска и широкая противоположная сторона ножа являются его гранями. Грань, по которой сходит срезаемый шпон, называют передней гранью ножа; грань, обращенную к сортименту, — задней, т. е. фаска ножа является задней его гранью.

Угол β , образованный передней и задней гранями ножа, называют углом заточки, или углом заострения.

Угол α , образованный плоскостью CQ , являющейся продолжением задней грани ножа, и плоскостью CP , перпендикулярной линии NC , называют задним углом.

Линия NC — касательная точки C (точка C фиксирует соприкосновение ножа с вращающимся сортиментом) с радиусом основного круга спирали Архимеда. Длина окружности основного круга спирали равна толщине шпона.

Угол δ , расположенный между передней гранью ножа и плоскостью CP , называют углом резания, который равен сумме угла заточки β и заднего угла α .

Угол ϵ , образованный плоскостью CP и плоскостью CM , перпендикулярной линии XX называют дополнительным углом.

Для получения гладкой ленты шпона лущение следует вести с соблюдением оптимальных параметров углов резания, скорости резания, положения ножа относительно оси шпинделей.

Угол заточки ножа. Для получения наиболее выгодных условий резания угол заточки ножа должен быть минимальным. На величину

угла заточки влияют порода древесины, толщина шпона и качество стали ножа [11].

Величина угла заточки лущильного ножа зависит главным образом от качества стали, применяемой для изготовления ножей. Силы резания, возникающие при лущении, вызывают изгиб ножа и могут привести к его излому. Величина сил резания зависит от породы древесины и толщины шпона.

Задний угол. Задний угол имеет большое значение в процессе лущения. Угол заточки и задний угол образуют угол резания. При постоянном угле заточки (табл. 1.2) изменение заднего угла соответственно изменит и угол резания.

Величина заднего угла для всех древесных пород зависит от диаметра сортимента. Для лущения сортиментов диаметром до 300 мм задний угол следует устанавливать в пределах от $0^{\circ}30'$ до $1^{\circ}00'$; для более толстых сортиментов — от $1^{\circ}00'$ до $3^{\circ}00'$. При малом заднем угле увеличивается поверхность соприкосновения фаски ножа с сортиментом, особенно при больших диаметрах сортимента.

При этом возрастает давление ножа на сортимент, что приводит к прогибу сортимента и даже к его раскалыванию, резкому увеличению нагрузки на станок и расходу электроэнергии, быстрому износу подвижных частей станка (суппортных гаек и винтов).

При слишком большом заднем угле на кромку ножа действуют значительные опрокидывающие моменты, суппорт начинает вибрировать и шпон получается с рифленой (рубчатой) поверхностью. Кроме того, в момент схода шпона с сортимента на левой его стороне при выпрямлении образуются поверхностные трещины.

Величина заднего угла прямо пропорциональна диаметру сортимента: чем больше диаметр, тем больше задний угол. При лущении, по мере

Т а б л и ц а 1.2 — Углы заточки лущильного ножа для разных пород Древесины

Порода древесины	Угол заострения ножа для заданной толщины шпона S	
	S ≤ до 2,5 мм	S ≥ более 2,5 мм
Береза	18...21	21...23
Ольха и липа	18...20	20...22
Сосна и бук	20...22	22...24
Кедр	23...24	25
Ель	25	25

уменьшения диаметра сортимента, следует уменьшать и задний угол до указанных выше пределов. Возможность изменения заднего угла в процессе лущения предусмотрена конструкцией суппорта лущильного станка.

Суппорты лущильных станков можно разделить на два типа. К первому типу относят

суппорты, в которых нож совершает поступательное и прямолинейное движение подачи, оставаясь параллельным сортименту при движении. Суппорт этого типа перемещается только по горизонтальным параллелям; траверса, несущая нож, жестко соединена с ним [11; 59].

Ко второму типу относят суппорты, при которых нож, имеющий поступательное движение подачи, автоматически поворачивается вокруг оси, параллельной осевой линии шпинделей. Эта осевая линия является линией пересечения горизонтальной плоскости, проходящей через ось шпинделей, с передней гранью ножа.

На рисунке 1.10 показано изменение углов резания у суппортов первого типа, когда режущая кромка ножа расположена в горизонтальной плоскости XX , совпадающей с осью шпинделей (точка O). Если нож передвигается горизонтально, угол резания и дополнительный угол в начале лущения (точка C_4) равны углу резания и дополнительному углу в конце лущения (точка C_2). Следовательно,

$$\delta_1 + \varepsilon_1 = \delta_2 + \varepsilon_2$$

или

$$\beta_1 + \alpha_1 + \varepsilon_1 = \beta_2 + \alpha_2 + \varepsilon_2.$$

Так как углы заточки одного ножа одинаковы, их можно исключить из равенства. Тогда оно примет вид

$$\alpha_1 + \varepsilon_1 = \alpha_2 + \varepsilon_2,$$

откуда

$$\alpha_1 - \alpha_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1.$$

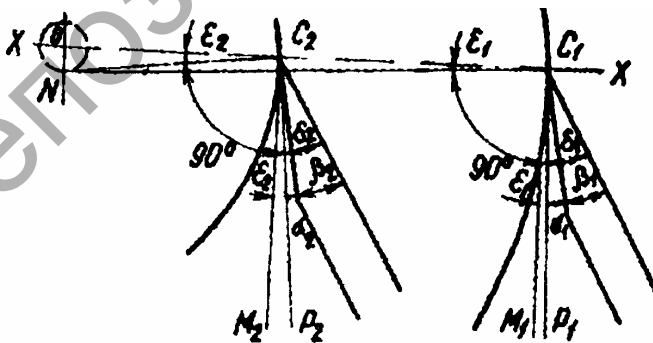


Рисунок 1.10 — Угловые параметры при использовании суппорта первого типа

Таким образом, у суппортов первого типа уменьшение заднего угла происходит на величину изменения разности дополнительных углов [11].

При установке режущей кромки ножа выше оси шпинделей лущение будет идти по кривой, подобной спирали Архимеда. При этом задний угол будет уменьшаться на величину разности дополнительных углов ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) (см. рис. 1.9).

При установке режущей кромки ножа ниже оси шпинделей в точке *C* (см. рис. 1.9) лущение будет происходить по кривой, называемой эвольвентой. При этом задний угол увеличится к концу лущения на величину разности дополнительных углов:

$$\alpha_2 - \alpha_1 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1.$$

Лущильные станки с суппортами первого типа встречаются редко, в основном на станках иностранных фирм [59]. Отечественные лущильные станки снабжены суппортом второго типа, так как изменение заднего угла суппортами первого типа крайне незначительно для сортиментов больших диаметров.

На рисунке 1.11 показана схема суппорта второго типа. Суппорт имеет два вида параллелей: основные (горизонтальные) и дополнительные (наклонные), — которых нет у суппортов первого типа. Ножевую траверсу устанавливают в полукольцевых шарнирных направляющих; центром ее вращения является точка *A* на режущей кромке ножа. Задняя часть ножевой траверсы (точка *B*) через эксцентрик шарнирно связана с ползунком, перемещаемым по наклонным

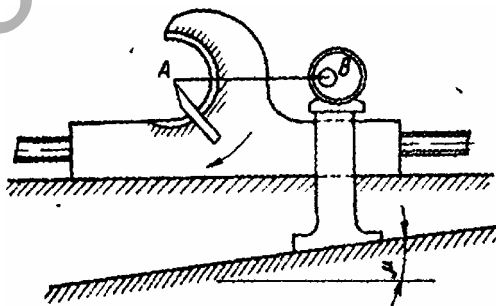


Рисунок 1.11 — Схема суппорта второго типа

параллельным направляющим [41]. Расстояние AB при любых положениях суппорта остается постоянным, и при движении его к шпинделям точка B движется по наклонным параллелям; в результате нож поворачивается по часовой стрелке. Наклон ножа и, следовательно, задний угол резания при этом равномерно изменяются на величину μ .

На рисунке 1.12 показаны графики изменения заднего угла в зависимости от диаметра сортимента для суппортов первого и второго типов. Установка луцильного ножа ниже оси шпинделей недопустима, так как это приводит к увеличению заднего угла к концу лущения, когда диаметр сортимента уменьшается. Наиболее целесообразно устанавливать нож на уровне оси шпинделей для сортиментов небольших и средних диаметров (16...24 см) и выше оси шпинделей (в пределах 0,5...1 мм) для сортиментов больших диаметров (более 26 см).

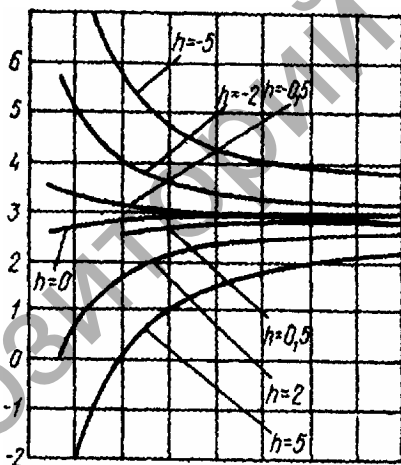
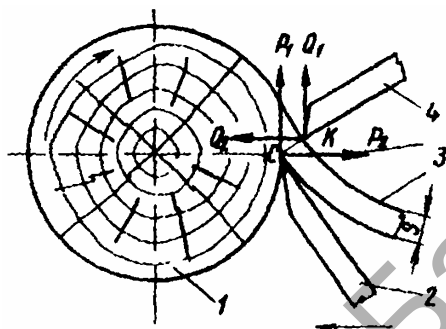


Рисунок 1.12 — Зависимость изменения заднего угла от диаметра сортиментов

Непрерывная лента шпона получается на луцильном станке при одновременном сочетании двух движений: вращательного движения сортимента и поступательного движения ножа. В шпоне различают две стороны: правую и левую. Поверхность сортимента образует правую

(верхнюю) сторону шпона. Сторона шпона, обращенная к сортименту, называется левой (внутренней). На рисунке 1.13 схематично представлено действие ножа 2 при лущении на вращающийся сортимент.



1 — сортимент; 2 — лущильный нож;
3 — шпон; 4 — прижимная линейка

Рисунок 1.13 — Резание шпона с прижимной линейкой

Под действием силы P_1 волокна древесины сжимаются в направлении, перпендикулярном волокнам. Под действием силы P_2 происходит изгиб или скалывание элементов древесины в плоскости волокон параллельно их длине. Для равномерного срезания слоя древесины в станках используют прижимную линейку (см. рис. 1.13).

1.2.5 Конструкция и принцип работы лущильных станков и линий для комплексной переработки древесины

Лущильные станки (рис. 1.14) предназначены для получения лущеного шпона из фанерного или спичечного сортимента, представляющего собой отрезок кряжа, который подготовлен к лущению [17]. При лущении сортимент 1 вращается вокруг своей оси, а лущильный нож 5 надвигается на него и срезает ленту 4 лущеного шпона, ширина которого равна длине сортимента, а длина зависит от его толщины. Сортимент на современных станках зажимается двойными

телескопическими шпинделями 15 с кулачками; вращение на шпиндели 15 передается от электродвигателя 17 главного привода через клиноремennую передачу 16, вал 13 и зубчатые передачи 14.

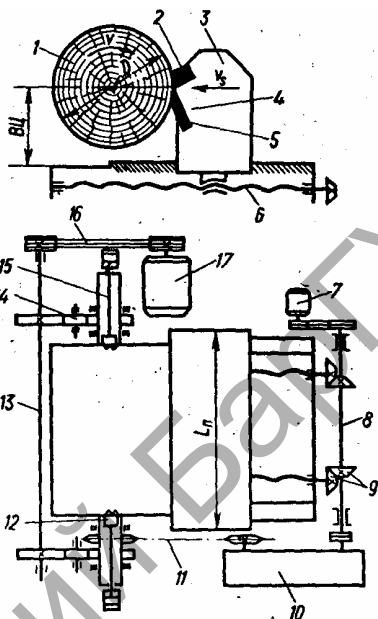
Рабочая подача суппорта 3 с ножом 5 и прижимной линейкой 2 происходит от правого шпинделя через цепную передачу 11, коробку передач 10, вал 8, коническую 9 и винтовую 6 передачи. Ускоренное перемещение суппорта осуществляется от электродвигателя 7. Жесткая кинематическая связь механизма подачи с механизмом вращения сортиментов позволяет получать лущеный шпон равномерной толщины.

Лущильные станки изготавливают с различными кинематическими схемами и параметрами. В зависимости от параметров лущильные станки подразделяют: на станки тяжелого типа (служат для лущения сортиментов длиной более 2,2 м и толщиной до 1300 мм); среднего типа (предназначены для лущения сортиментов

длиной от 1,3 до 2 м и толщиной до 800 мм); легкого типа (служат для лущения сортиментов длиной до 1 м и толщиной до 450 мм).

Лущильные станки характеризуются следующими параметрами:

1) расстояние между зажимными кулачками шпинделей определяет длину сортимента, а следовательно, и получаемую при лущении сортимента ширину ленты шпона, которая равна длине сортимента. Различают максимальное и минимальное расстояния между кулачками. Длина сортимента должна быть не больше максимального и не меньше минимального расстояния [59];



- 1 — сортимент; 2 — прижимная линейка;
- 3 — суппорт; 4 — лента шпона; 5 — нож;
- 6 — винтовая передача; 7 — электродвигатель ускоренного подвода и отвода суппорта;
- 8, 13 — вал; 9 — коническая передача;
- 10 — коробка передач; 11 — цепная передача;
- 12 — кулачок шпинделя; 14 — зубчатая передача;
- 15 — телескопический шпиндель;
- 16 — клиноремennая передача;
- 17 — электродвигатель главного привода

Рисунок 1.14 — Принципиальная схема лущильного станка

2) высота центра шпинделей над станиной $BЦ$ (см. рис. 1.14) определяет максимально возможную толщину исходного сортамента $D = 2BЦ - 100$ мм;

3) длина луцильных ножей обычно на 30...50 мм больше максимального расстояния между кулачками шпинделей;

4) частота вращения шпинделей зависит от кинематической схемы привода станка и принимается из условия обеспечения оптимального режима лущения. Частота вращения шпинделей может быть постоянной и переменной. При постоянной частоте вращения, вследствие уменьшения диаметра сортамента в процессе лущения, уменьшается и скорость. При переменной частоте вращения с уменьшением диаметра сортамента в процессе лущения постепенно автоматически увеличивается частота вращения шпинделей на величину, обеспечивающую постоянство скорости лущения.

Станки отечественного производства в основном имеют постоянную частоту вращения шпинделей со ступенчатым изменением, которое осуществляется за счет применения двух- или трехскоростных электродвигателей. Станки иностранных фирм и отечественные станки последних моделей имеют устройства для автоматического изменения частоты вращения шпинделей в процессе лущения;

5) скорость рабочей подачи — путь перемещения суппорта (ножа с прижимной линейкой) за время одного оборота шпинделей (сортамента) или за 1 мин. Скорость подачи определяет толщину получаемого при лущении шпона. Луцильные станки для получения шпона различной толщины имеют механизмы изменения скорости подачи в виде коробки подач или сменных настроечных шестерен. Регулируется скорость подачи включением в кинематическую цепь механизма подачи зубчатых колес различным числом зубьев;

6) скорость ускоренного хода суппорта — скорость перемещения суппорта в период подвода его к сортаменту в начале лущения и отвода от сортамента (карандаша) в конце процесса. Для сокращения до минимума вспомогательного времени на эти операции скорость ускоренного хода принята достаточно высокой и для отечественных станков составляет 80, а для зарубежных — 88 мм / с;

7) скорость обдирочной подачи — скорость перемещения суппорта в начале лущения до момента оцилиндровки сортамента и получения листов шпона, пригодных для производства фанеры или для других целей. Обдирочная подача принята значительно

больше рабочей для того, чтобы время оцилиндровки сортифта было минимальным;

8) скорость перемещения зажимных шпинделей принимают такой, чтобы время отвода суппорта и раскрепления карандаша было одинаковым. Для отечественных и зарубежных станков достигает 60 мм / с. Осуществляется осевое перемещение шпинделей винтовой передачей, гидравлическими или пневматическими зажимными цилиндрами;

9) диаметр зажимных кулачков определяет минимально возможный диаметр получающихся при лущении карандашей;

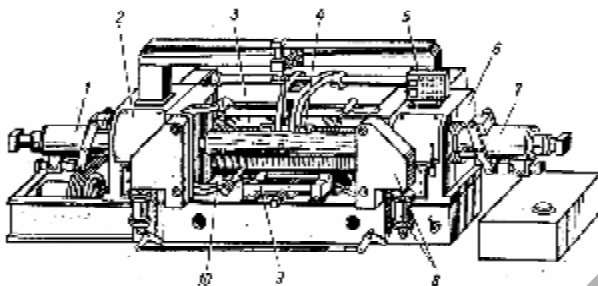
10) мощность главного привода и мощность всех установленных электродвигателей измеряется в киловаттах;

11) габаритные размеры станка — длина, ширина и высота — измеряются по наиболее выступающим частям станка. Длина и ширина обуславливают необходимую производственную площадь для установки станка [59; 81].

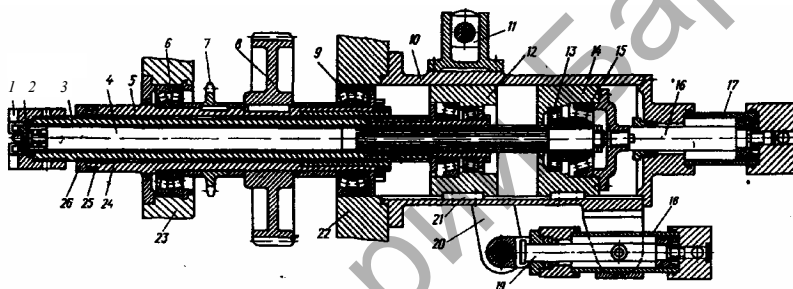
Лущильный станок ЛУ17-4. Механизмы лущильного станка ЛУ17-4 (рис. 1.15, а) приводятся в действие от трехскоростного электродвигателя и гидро- и пневмоцилиндров. Управляют работой станков с пульта 5. В станке применены телескопические шпиндели с гидравлическими зажимами, пневматическое центровочно-загрузочное приспособление и ограничитель прогиба сортифта 4.

Все сборочные единицы станка и механизмы монтируют на станине 2, которая выполнена в виде жесткой сварной рамы. Непосредственно в станине размещаются валы и зубчатые колеса для передачи вращения от главного привода на шпиндели 1 и 7 станка, вал и передачи с электродвигателем ускоренного перемещения суппорта, ходовые винты суппорта и другие элементы. Шпиндельные бабки, главный привод, направляющие суппорты, пульт управления 5, загрузочное устройство 9, центровочное приспособление 8 и другое оборудование крепятся на станине болтами.

Монтируют станок на массивном бетонном фундаменте [59]. Для механизированного удаления карандаша после лущения в станине имеется специальное окно, а в фундаменте устраивают канал для размещения цепного или ленточного конвейера. Привод рабочих шпинделей осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу и главный привод.



a)



б)

- а: 1 — левый шпindel; 2 — станина; 3 — суппорт; 4 — ограничитель прогиба сортирента; 5 — пульт управления станком; 6 — коробка подач; 7 — правый шпindel; 8 — центровочное приспособление; 9 — загрузочное устройство; 10 — сортирент;
- б: 1 — кулачок наружный; 2 — кулачок внутренний; 3 — наружный шпindel; 4 — внутренний шпindel; 5 — вал; 6, 9, 13, 15 — подшипники; 7 — звездочка; 8 — зубчатое колесо; 10 — гильза; 11 — опора; 12, 14 — обоймы; 16, 19 — штоки; 17, 18 — гидроцилиндры; 20 — рычаг; 21 — шпонка; 22, 23 — стойки станины; 24 — втулка; 25 — подкладка; 26 — гайка

Рисунок 1.15 — Общий вид лущильного станка и конструкция шпindelной бабки

Главный привод служит для передачи вращения от электродвигателя на шпindel и включает шкив диаметром 500 мм, колодочный тормоз, смонтированный на втулочно-пальцевой муфте, с помощью которой соединены валы главного привода, и электромагнитную

муфту для включения и остановки вращения шпинделей без выключения электродвигателей.

Шпиндельная бабка (рис. 1.15, б) служит для зажима сортифта и сообщения сортифту вращательного движения. Станки ЛУ17-4 и ЛУ17-10 имеют телескопические шпиндельные бабки с гидравлическим перемещением зажимных кулачков 1 и 2. Опирается шпиндель на двухрядные роликовые подшипники 6 и 9, смонтированные в стойках и станины станка.

Шпиндель получает вращение от промежуточного вала через зубчатое колесо 8. При этом вращение получают полый вал 5, наружный 3 и внутренний 4 шпиндели, опирающиеся на подшипники 6...9, 13 и 15. Шток 16 гидроцилиндра 17 при этом остается неподвижным, так как он соединен с обоймой 14, зафиксированной в гильзе 10 шпонкой.

Осевое перемещение внутреннего шпиндель 4 получает при подаче масла в гидроцилиндр 17. При этом, под воздействием масла на поршень шток 16 перемещается влево и перемещает обойму 14, а вместе с ней и шпиндель 4. Наружный шпиндель 3 в это время неподвижен. Наружный шпиндель 3 станка ЛУ17-4 получает осевое перемещение при подаче масла в гидроцилиндр 18. При этом шток 19 воздействует на рычаг 20, шарнирно закрепленный в опоре и несущий в средней части пальцы, соединенные с обоймой 12. В результате поворота рычага 20 обойма 12 перемещается вдоль опорной гильзы 10.

Масло в гидроцилиндр подается при зажиме сортифта в правую полость (с торца цилиндра), а при разжиме — в левую. В станке ЛУ17-10 применены два гидроцилиндра.

Коробка подач служит для перемещения ножевого суппорта с различными скоростями подач и представляет собой чугунный литой корпус, внутри которого находятся цепная передача, муфта, а на одном из торцов под крышкой гитара со сменными шестернями.

Изменением числа зубьев сменных шестерен достигается изменение передаточного числа коробки, а следовательно, и величины подачи суппорта за время одного оборота сортифта [59]. Толщина ленты шпона при этом будет равна величине подачи. Коробка подач позволяет устанавливать сменные шестерни с числом зубьев 16; 32 и 72. При этом можно получать листы шпона толщиной от 0,2 до 3,2 мм.

Центровочно-загрузочное приспособление служит для подачи сортимента в зажимные шпиндели лущильного станка и центровки его относительно оси вращения шпинделей таким образом, чтобы выход шпона был максимальным. Сортимент, поступающий по накопительному конвейеру, после удаления из шпинделей карандаша подается на загрузчик сортиментов, смонтированный под шпинделями в выемке станины. Загрузчик сортиментов представляет собой передвижную рамку, опирающуюся на конусные направляющие и соединенную со штоком пневмоцилиндра. При включении пневмоцилиндра сортимент загрузчиком подается вперед в зону захвата его клещами центровочного приспособления. В конце хода загрузчик упором воздействует на конечный выключатель, отключающий и включающий загрузчик и включающий в работу центровочное приспособление.

Центровочное приспособление монтируется на правой и левой стойках станины и соединяется блокирующими рычагами и штангами для одновременного действия всех захватов. Работает устройство от пневмоцилиндров. Центровка сортимента осуществляется верхними и нижними захватами и совмещается с его подъемом до уровня оси шпинделей [11].

1.3 Способы повышения качества лущеного шпона

Технологический процесс лущения необходимо вести при определенных (оптимальных) параметрах, от которых зависит качество шпона и его количественный выход. Такими параметрами являются: угловые параметры ножа и линейки; состояние ножа и линейки; величина подачи; взаимное положение ножа и линейки при лущении — степень обжима шпона; скорость лущения; температура и влажность древесины сортимента при лущении; качество сортиментов и схема их раскроя; способы и приемы раскроя ленты на листы и использование кускового шпона.

Угол резания при лущении должен быть минимально возможным, чтобы уменьшить разрушение шпона от изгиба его передней гранью ножа. Поэтому угол заточки ножа принимают равным 18...25°, причем меньшие значения выбирают для малых толщин шпона. Нож должен быть хорошо заточен, не иметь зазубрин, рисок,

вмятин. Величину подачи S принимают равной толщине шпона и обеспечивают соответствующей настройкой луцильного станка.

Опытные исследования процесса лущения показали, что для получения качественного шпона необходимо применять прижимную линейку, и лишь при малой толщине осинового коробочного шпона лущение ведут без обжима. Лущение с обжимом позволяет получить шпон без внутренних трещин и с более гладкой поверхностью [11]. Процесс резания с обжимом характеризуется степенью обжима C , которая определяется по формуле

$$C = \frac{a_c - a_{ш}}{a_c} 100\%,$$

где a_c — толщина сырого шпона, мм;

$a_{ш}$ — величина зазора между ножом и прижимом.

При исследовании процесса лущения выявлено, что обжим сортифта во время переработки обеспечивает более гладкую поверхность шпона и повышает его прочность.

На рисунке 1.16 представлены результаты экспериментальных исследований процесса лущений березы при различной степени обжима. При этом установлено, что при правильном выборе степени обжима достигается полное устранение трещин, обусловленных изгибом стружки (шпона) при сходе его по передней грани ножа, и повышается прочность шпона (рис. 1.16, *а*, *б*), а также уменьшается высота микронеровностей поверхности шпона (рис. 1.16, *в*). Однако при чрезмерном обжиме, несмотря на отсутствие внутренних трещин, прочность шпона уменьшается, а шероховатость растет вследствие разрушения поверхностного слоя прижимной линейкой.

Эффективность лущения с прижимной линейкой обеспечивается лишь при качественной гидротермической обработке сортиментов, поэтому при производстве фанеры лущение необходимо вести при влажности сортимента более 30% и температуре 25...40°C (береза), 10...25°C (осина) и 30...50°C (сосна). При производстве спичечной соломки влажность древесины сортимента должна быть не менее 50%, а температура (25 ± 5)°C.

Повышенная влажность в сочетании с тепловой обработкой повышают пластичность древесины, что обеспечивает более устойчивое

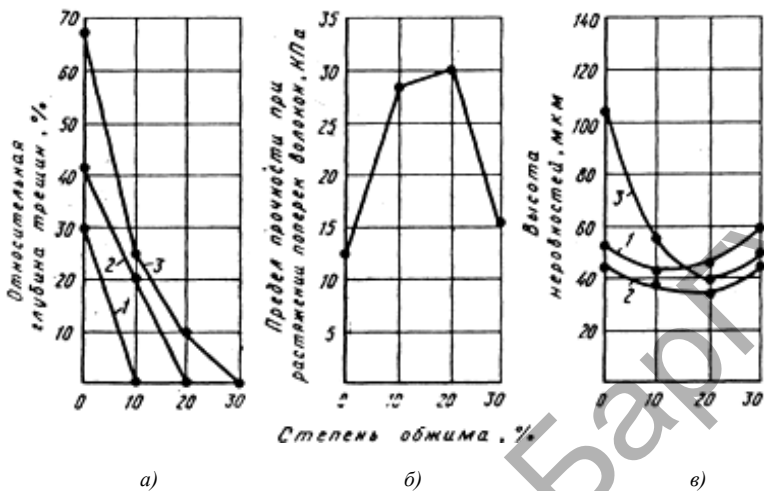


Рисунок 1.16 — Схема линии лущения — рубки шпона фирмы Raute

формирование стружки [11; 59]. Оптимальную степень обжима при лущении (для древесины березы и сосны) определяют по формуле

$$\Delta = 7a_c + 9\%,$$

а для древесины осины, ольхи формула исчисления имеет вид

$$\Delta = 7a_c + 14\%.$$

Тонкий коробочный шпон лущат без обжима при уменьшенных углах резания. Изменения параметров лущения для шпона определенной толщины, породы, назначения используемого станка определяются технологическими инструкциями.

1.4 Анализ возникновения потерь древесины при лущении шпона, вызванных неточностью базирования

Математическое описание основных технологических процессов, анализ работы технологического и вспомогательного оборудования позволяют определить информационные потоки в фанерном производстве

для автоматизированного учета, контроля и управления. Знание целей производства и наличие систематизированной информации о процессе дают возможность внедрять АСУ ТП на фанерных предприятиях и цехах.

Луцильный станок с эффективно работающим центровочно-загрузочным устройством увеличивает выход делового шпона и позволяет экономить фанерное сырье [85; 88]. Если ось вращения сортамента в шпинделях луцильного станка совпадает с осью цилиндра, вписанного в сортимент и имеющего наибольший объем, то количество получаемого делового шпона также будет наибольшим. Улучшение базирования сортиментов в шпинделях луцильного станка достигают при помощи установки специальных центровочно-загрузочных устройств, позволяющих за счет правильной центровки получить наибольшее количество делового шпона из сортимента.

Среднее смещение геометрического центра сортимента от оси цилиндра (эксцентриситет) при ручной центровке, для диаметра сортимента 22 см, являющегося средним диаметром сырья в фанерной промышленности, составляет около 6 мм. Механизированная центровка позволяет уменьшить эксцентриситет на несколько миллиметров и расход сырья на 1 м³ шпона P_c при ручной и механизированной центровке, определяют по формуле:

$$P_c = \frac{100V_c}{125,6(K_b^2 d_c^2 - d_k^2)},$$

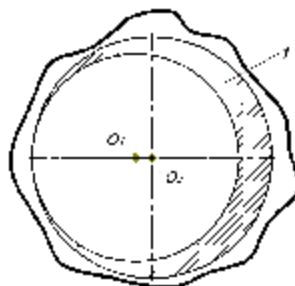
где V_c — объем сортимента длиной 1,6 м и диаметром 0,22 м;

K_b — коэффициент формы сортимента;

d_c — средний диаметр перерабатываемых сортиментов (0,22 м);

d_k — средний диаметр получаемых карандашей (0,075 м);

При этом, за счет объема заштрихованного «серпа» (рис. 1.17), уменьшается выход полноформатного шпона и увеличивается количество отходов, а выход делового кускового шпона возрастает на 20...30% [100].



O_1, O_2 — центры базирования;
 l — зона уменьшения выхода

Рисунок 1.17 — Эксцентриситет при неточной центровке

При сопоставлении объемных выходов при ручной и механической центровке обычно получается значительная, в масштабах производства, экономия сырья. Для среднего диаметра сырья (22 см), уменьшение расхода сырья на 1 м³ шпона составляет 5...7%. Значительное увеличение выхода может быть достигнуто при использовании электронных способов, рассмотренных в последующих главах. При лущении шпона наиболее трудоемкой операцией является базирование сортимента. Важность этой операции определяется экономическими и технологическими аспектами. Даже незначительные неточности базирования изменяют соотношение между количеством форматного и кускового шпона. На некоторых предприятиях, даже при нынешнем развитии наукоемких технологий, используется способ ручной центровки. Это объясняется, скорее всего, экономическими соображениями. На предприятиях СНГ такой способ не используется. Тем не менее, исследования некоторых научных организаций в этом вопросе опубликованы в статьях источника [45].

Среднее смещение центра сортимента от оси вписанного цилиндра максимального объема (эксцентриситет) e , мм, при ручной центровке определяют по формуле

$$e = \frac{d_c}{25} - 3,$$

где d_c — диаметр сортимента, мм.

Для анализа существующих способов базирования на диаграмме (рис. 1.18) показана зависимость потерь древесины от эксцентриситета.

Исследования, проведенные в лабораториях фирмы *Raute*, в области перспективных технологий лущения дают достаточно полную картину зависимости потерь древесины, возникающих при неправильном расположении сортимента в шпинделях станка от диаметра сортимента.

Уменьшение объема фанерной зоны сортимента ΔV_c в результате эксцентриситета e , см, определяют по формуле

$$\Delta V_c = \frac{4e(D_1 - e)}{D_1^2 - d_k^2} 100,$$

где D_1 — диаметр вписанного цилиндра, см;
 d_k — диаметр карандаша, см.

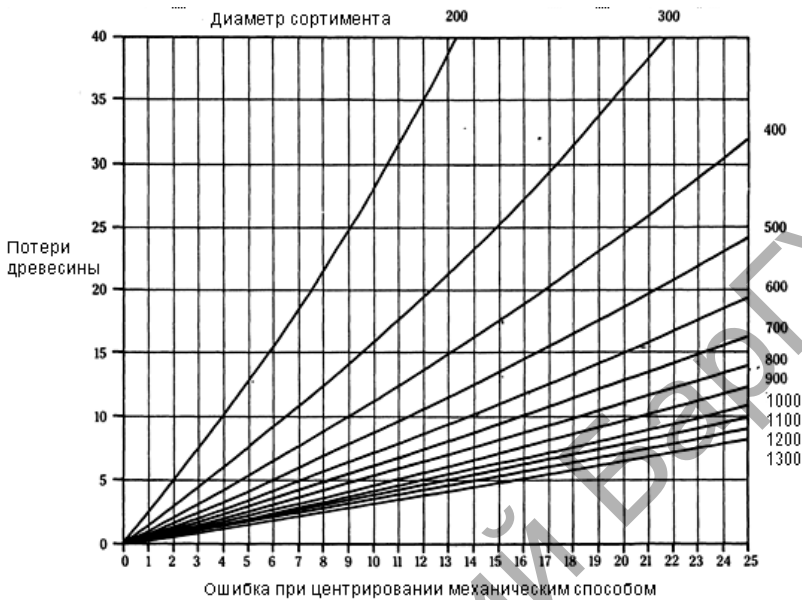


Рисунок 1.18 — Влияние ошибки центрирования сортиментов

Результаты, полученные при исследовании процесса базирования [67; 72; 73], приведены в таблице 1.3.

Т а б л и ц а 1.3 — Уменьшение объема фанерной зоны при изменении точности базирования

Диаметр, мм	Уменьшение объема фанерной зоны при e , мм, %				
	1	3	5	7	9
160	3,1	9,1	15,0	20,7	26,3
180	2,6	12,7	17,6	22,4	19,6
200	2,3	6,7	11,1	15,4	19,6
220	2,0	6,0	10,0	13,7	17,5
240	1,8	5,4	8,9	12,4	15,8
260	1,7	4,9	8,1	11,3	14,4
280	1,5	4,5	7,5	10,4	13,3
300	1,4	4,2	6,9	9,5	12,3

При экспериментальном исследовании на предприятиях, оборудованных системами электронного управления процессом лущения, изменение координат центра вписанного цилиндра производилось с помощью позиционируемых гидроцилиндров.

Значения потерь, выраженные в процентах от общего объема сортимента, показывают зависимость количества деловой древесины от диаметра сортимента при различных значениях эксцентриситета положения оси сортимента, относительно оси вращения шпинделей. Наибольшее количество отходов образуется при лущении сортиментов небольших диаметров. При лущении часто возникает ситуация, когда сортимент не перерабатывается полностью (с учетом внутренней зоны — «карандаша»). При наличии некоторых видов пороков строения древесины происходит выпадение сортимента, что приводит к дополнительным потерям. Приведенные исследования подтверждают необходимость создания высокоточного оборудования для контроля качества сырья и базирования сортиментов.

1.5 Повышение эффективности поперечного раскрыя кряжей на сортименты

При переработке круглых лесоматериалов необходимо оценить возможность получения из них лесопродукции заданного объема и качества. Косвенным показателем такой оценки может служить максимальный цилиндрический объем древесины, получаемый из бревна.

В работе [72] предложен один из возможных критериев такой оценки — коэффициент формы сортимента K_f , который определяют отношением объема цилиндра полной длины, вписанного в сортимент, к фактическому объему данного сортимента. Основные параметры бревна, характеризующие его типоразмер без учета качества внутренней структуры древесины: диаметр комлевого торца; диаметр вершинного торца; длина; наибольший прогиб бревна. Прогнозирование максимального объема полезной древесины возможно на этапе раскрыя [99].

Таким образом, может рассматриваться два варианта размерных характеристик круглого лесоматериала: расчетные данные на этапе раскрыя хлыста; фактический обмер сортимента (после раскрыя). После анализа и соответствующих расчетов может быть

определено направление переработки круглого лесоматериала с учетом коэффициента его формы. Точность такого расчета не всегда позволяет составить эффективную карту раскроя. Решение аналитической задачи сводится к следующим условиям:

1) если диаметр сортимента настолько мал, что отсутствует возможность выработки продукции из вписанного цилиндра максимального объема, то можно сказать, что решения задачи в данном случае не существует. (Возможны варианты переработки такого сортимента либо на несколько коротких, либо получение из него щепы);

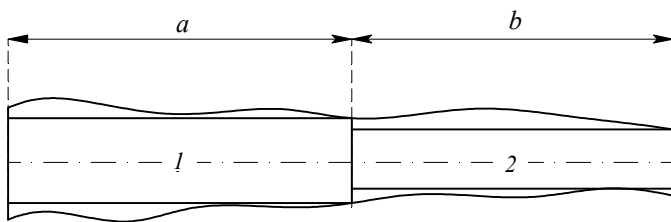
2) решение существует, и оно не единственное при выполнении условия. В данном случае диаметр сортимента равен вершинному диаметру бревна, центр базирования вершинного торца совпадает с геометрическим центром, а центр базирования комлевого торца может быть расположен в определенном промежутке.

Сложность решения аналитической задачи зависит от временных факторов и скорости подающего конвейера при штучном методе подачи лесоматериалов. В таких случаях предпочтительно использовать параметрическое моделирование.

Моделирование процесса раскряжевки — одна из самых сложных задач при подготовке сырья для переработки на лущильных станках [47; 50]. Сложность задачи заключается в необходимости предварительного анализа «полезной зоны» кряжей перед их распиловкой.

При определении полезной зоны необходимо проанализировать возможные потери при переработке сортиментов, зависящие от геометрической формы лесоматериалов. Поперечная распиловка кряжей, как правило, осуществляется по длине кряжа для заданной длины сортимента. Наиболее полную информацию о количестве полученной продукции из каждого кряжа можно получить с помощью моделирования на основе измеренных параметров и координат поверхности лесоматериалов. Современные измерительные устройства позволяют учитывать все их особенности и пороки: кривизну, закомелистость, сбег, отклонения формы и др.

Полученные при продольном сканировании параметры лесоматериалов являются основой для определения максимального объема полезной древесины, которая может использоваться для переработки. Для предварительного анализа распиливаемый кряж условно разбивается на сортименты одинаковой длины (в соответствии с необходимой длиной сортимента) (рис. 1.19).



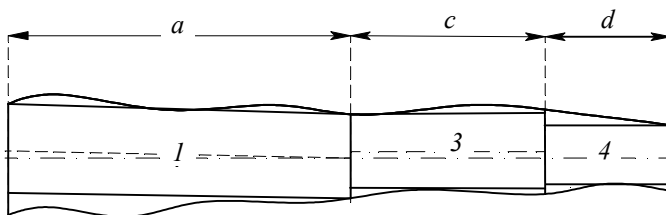
1, 2 — полезная зона сортиментов

Рисунок 1.19 — Схема раскря лесоматериала без учета особенностей формы

На схеме показаны сортименты, которые могут быть получены при обычном методе раскря (без учета геометрических параметров) (см. рис. 1.19). Очевидно, что при таком способе распиловки значительная часть сортиментов перераспределится в отходы. Если попытаться смоделировать полезную зону каждого сортимента и определить отношение суммарного объема всех сортиментов ко всему объему кряжа (без учета коры), можно получить значение коэффициента переработки. Для фанерных сортиментов значение этого коэффициента представляет переменную величину.

Если перемещать условно сформированные оси в пространстве, создается возможность для определения максимального объема вписанного цилиндра для каждого сортимента. Примерно такая же операция производится при базировании сортиментов перед установкой в шпинделях луцильного станка. Подбирая параметры для каждого сортимента при одновременном перемещении отрезков вдоль предполагаемой оси, можно выбрать зону максимального объема древесины для переработки (рис. 1.20).

На первый взгляд, поставленная задача не представляет сложности в реализации. Если учесть, что все параметры сортиментов, включая толщину коры на участках поверхности сортимента, определены с высокой точностью, то можно представить, сколько вариантов изменения положения осей в пространстве необходимо проверить для достижения максимально расчетного суммарного объема. Проведенные исследования подтверждают эффективность расчетов с помощью параметрической оптимизации. Такое решение может быть получено на основе параметрических систем твердотельного моделирования.



1, 3, 4 — положение сортиментов после оптимизации по объему

Рисунок 1.20 — Схема раскря лесоматериала с учетом объемной оптимизации

Функциональные блоки, входящие в состав современных интегрированных систем, предназначены для решения задач оптимизации $2D$ -чертежа или $3D$ -модели. Решением задачи является подбор значений существующих переменных, наилучшим образом удовлетворяющих поставленным условиям. Использование таких методов проектирования возможно только при наличии в документе численных переменных.

После вызова соответствующего задания для оптимизации выполняется поиск решения с определенными условиями. Как правило, сложная модель может содержать любое количество заданий на оптимизацию. Ограничением в этом случае может послужить производительность компьютерной системы.

1.6 Влияния параметров сырья на объемный выход шпона

Объем древесины, заключенной в каждой из рассмотренных зон, может быть охарактеризован следующими цифрами: зона рванины 20...23%, зона длинных кусков 4...5%, зона полноформатного шпона 57...59%, зона карандаша 15...17%. Чем больше диаметр сортимента, тем больше удельный вес второй и третьей зон [59]. Длительный период времени объемные характеристики отдельных зон сортимента определялись только теоретическим путем. Для определения объема делового шпона пользуются расчетными формулами из источников [11], но такой способ имеет большие погрешности. При технологических

и экономических расчетах такие данные могут вызвать значительную погрешность и привести к неучтенным потерям.

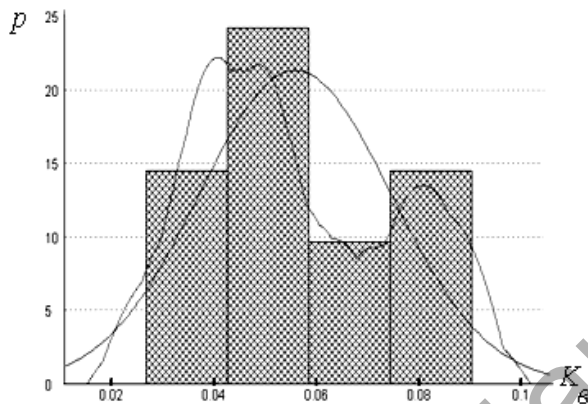
В случае лущения сортиментов на станке, оборудованном механическим центровочно-загрузочным приспособлением, при полном отборе кускового шпона, выход делового шпона из сортиментов может быть определен по расчетным формулам. Деловые куски, в зависимости от диаметра разлущиваемого сортимента, составляют 13...17% от объема делового шпона [13; 22; 59]. Расчеты показали, что разница в коэффициентах выхода шпона из сырья разного сорта составляет между двумя соседними сортами приблизительно 3,5...4%. При известном процентном соотношении сортов в партии сырья средний объемный выход находится по эмпирическим формулам.

Экспериментальные измерения на предприятии показали значительный разброс параметров в зависимости от зоны лущения. Исследовались реальные показатели фанерных сортиментов. Первичные исследования показателей проводились при ручном измерении характерных размерных соотношений. После измерений полученные данные обрабатывались с помощью специального программного обеспечения. Однако на этом этапе расчеты имели значительную погрешность, так как не учитывали геометрические особенности формы сортиментов. Гистограмма распределения коэффициента выхода шпона показана на рисунке 1.21.

Статистические показатели представленных соотношений позволяют оценить результаты измерений и вычислить средние значения по выборке.

Коэффициенты объемного выхода зависят от многих параметров. При ручном измерении объемного выхода шпона возникает значительная погрешность, которая определяется сложностью учета отходов. Эта операция затруднена также в связи с использованием табличных значений объемов.

На объемные показатели лущения значительное влияние оказывает толщина коры, которая является переменной величиной и зависит от многих факторов. При расчетах толщина коры определялась аналитическим методом [22]. Влияние этого параметра должно учитываться при центрировании сортиментов. В соответствии с приведенными данными (табл. 1.4) для отдельных сортиментов значение толщины коры может достигать 1 см и более. При лущении сортиментов производились также измерения максимального диаметра оцилиндрованного сортимента.



(p – плотность распределения; K_v – объемный выход шпона)

Рисунок 1.21 — Гистограмма объемного выхода шпона по распределению выборки

Т а б л и ц а 1.4 — Значения толщины коры при различных параметрах сортиментов

Диаметр, см			Толщина коры S, см	Коэффициент использования полезной древесины K
сортимента	карандаша	оцилиндрованного сортимента		
16,000	8,600	14,400	0,460	0,586
19,500	7,800	16,100	0,530	0,440
22,000	8,100	15,200	0,590	0,539
22,000	7,000	18,700	0,590	0,498
22,000	14,100	17,800	0,590	0,289
22,000	7,800	17,900	0,590	0,482
22,000	8,600	16,500	0,590	0,744
24,000	8,400	17,000	0,640	0,387
24,000	7,400	22,400	0,640	0,784
26,000	8,300	18,300	0,680	0,511
27,000	8,100	24,400	0,700	0,728
27,000	13,800	24,300	0,700	0,531
29,000	13,500	25,200	0,750	0,491
39,000	9,600	24,000	0,970	0,287

Диаметр оцилиндрованного сортимента зависит от точности центрирования. В свою очередь сортименты, имеющие различные пороки, связанные с формой и дефектами поверхности, влияют на процесс базирования в устройствах механического типа [59].

Анализ приведенного аналитического материала показывает, что основными операциями, которые могут рассматриваться при разработке ресурсосберегающих технологий и оборудования, являются предварительная сортировка, раскрой круглых лесоматериалов на сортименты и лущение сортиментов. В результате выполнения этих технологических операций образуются потери сырья, связанные с неточным определением параметров кряжей и сортиментов при их измерении. Неточное базирование сортимента также приводит к потерям полезной древесины, что, как следствие, приводит к затратам дополнительной энергии.

В соответствии с проведенными исследованиями основная часть отходов при лущении образуется в двух зонах: зоне рванины 20...23%, зоне длинных кусков 4...5%. При повышении точности базирования (прецизионное базирование) часть полезной древесины из этих зон перераспределится, в результате чего значительно возрастет объем зоны полезной древесины. В последующих главах рассматриваются решения, способствующие разработке ресурсосберегающей системы в производстве лущеного шпона.

Глава 2

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

Измерение и учет параметров сырья — важнейшая задача в производстве лущеного шпона. При неточном измерении геометрических параметров и размеров возникают погрешности учета объемов круглых лесоматериалов и пороков древесины, что, как правило, приводит к снижению энергоэффективности лущильного оборудования и потерям сырья. На этапе подготовки сырья, за счет применения современных методов, можно значительно уменьшить количество потерь древесины. Для повышения возможностей измерения параметров, учета пороков формы и строения древесины возникает необходимость создания высокоточных методов моделирования поверхности и измерения параметров круглых лесоматериалов.

2.1 Особенности учета и приемки сырья на фанерных предприятиях

Образование возможных количественных и качественных потерь древесины начинается с участка приемки фанерного сырья. Приемка сырья по количеству осуществляется на основе ГОСТ 2708 «Таблицы объемов круглых лесных материалов» в соответствии с требованиями ГОСТ 2292 «Маркировка, сортировка, обмер и учет круглых лесоматериалов» и ГОСТ 9462 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Размеры и технические требования». Приемка сырья по качеству осуществляется на основе ГОСТ 2140 «Древесина. Пороки» в соответствии с требованиями ГОСТ 9462 «Методы проверки качества» и регламентированы ГОСТ 2292. Основные причины реальных и возможных потерь фанерного сырья на участке его учета и приемки: недостаточная точность применяемых способов определения объема сортиментов; неполное соответствие объема и качества

поставляемого сырья по оценкам поставщиков и потребителей; несоблюдение поставщиками отдельных технических требований к круглым лесоматериалам, предназначенным для фанерного производства. Применяемые для определения объема фанерного сырья учетные способы обладают некоторой неточностью. Это обусловлено недоучетом факторов овальности и использованием приближенных характеристик сбежистости при составлении действующих таблиц объема круглых лесоматериалов и обосновании метода измерения их толщины.

Овальность круглых лесоматериалов, предназначенных для лущения, как порок их формы, имеет особое значение в отношении полноты использования объема древесины, поскольку срезание шпона происходит после оцилиндровки. Всякое отклонение поперечного сечения сортимента от круга приводит к уменьшению объема полноформатного шпона. Овальность березовых сортиментов обуславливает количественные потери сырья в процессе его обмера и учета, количественные и качественные потери в процессе изготовления фанеры. Количественные потери при обмере и учете сортиментов овальной формы обусловлены недостаточной точностью применяемого метода измерения. Сильная и очень заметная овальность (соответственно 8...11 и 12...16% для сортиментов диаметром 18...26 см) приводит к тому, что учетный диаметр оказывается всегда больше фактического на 0,5...1 см. В связи с этим, учетный объем такого сырья на 2...5% (в среднем 3,25%) больше фактической. В поставках фанерного сырья насчитывается 8,8% сортиментов с сильной и средней овальностью [4; 59]. Эти потери, с некоторым избытком, перекрываются за счет сырья со слабой овальностью, фактический диаметр которого оказывается несколько больше учетного. В процессе изготовления фанеры, для получения полноформатного шпона, овальные сортименты оцилиндровываются до наименьшего фактического диаметра. Оцилиндровка сортиментов с сильно выраженной овальностью, уменьшая на 2 см ширину их высококачественной зоны, по сравнению с данными учетного диаметра, вызывает приближение к поверхности сортимента внутренних пороков древесины [23—25]. Это приводит к фактическому переходу отдельных категорий сортиментов в более низкий сорт. Сильная овальность приводит к фактическому снижению сортности фанерного сырья (см. табл. 1.4). Поскольку снижение качества

сырья на один сорт приводит к среднему увеличению его расхода на 3...4% [59], а перевод в IV сорт — на 30% и более, количественные потери фанерного сырья, вызванные уменьшением ширины высококачественной зоны из-за сильной овальности, изменяются. Таким образом, общие потери фанерного сырья на стадии его учета и приемки, зависящие от недоучета овальности сортиментов, достигают сравнительно больших значений. Сбег фанерных сортиментов является пороком формы и сказывается на количестве учитываемых сырьевых ресурсов и древесных отходов, а при больших значениях — на выходе полноформатного и кускового шпона в процессе изготовления фанеры [59; 136; 137,]. Применяемые для вычисления объемов сортиментов таблицы (ГОСТ 2708), построенные на использовании усредненного сбega для многих древесных пород, не всегда согласуются с конкретными характеристиками сбega березовых сортиментов, используемых в фанерном производстве [59]. Различия в объемах березовых лесоматериалов, определяемых по таблицам и показателям фактического сбega, составляют 0,37% к общему объему сырья, что приводит к количественным его потерям, обусловленным фактором сбежистости (табл. 2.1).

Значительные потери сырья также наблюдаются на участке его приемки. Действительные характеристики объема и качества, получаемого фанерными предприятиями сырья, не всегда соответствуют оценкам поставщиков. Многочисленные проверки соответствия фактического объема и качества сырья оценкам его

Т а б л и ц а 2.1 — Количественные потери березового фанерного сырья, обусловленные фактором сбежистости

Диаметр, см	Фактический сбег, %	Объем, м ³		Отклонение (+, -) фактического объема от учетного	
		по фактическому сбегу	по таблицам (ГОСТ 2708)	%	тыс. м ²
18	2,9	0,044	0,044	0,00	0,0
22	3,5	0,067	0,066	+1,50	+20,3
26	4,4	0,095	0,096	-1,00	-15,3
30	4,0	0,126	0,128	-1,50	-23,6
В С Е Г О	—	—	—	-0,37	-18,6

поставщиков показали, что в практике поставок фанерного сырья наблюдаются факты его недопоставок по количеству или же поставок сырья завышенной против фактической сортности [23].

Изучение соответствия характеристики березового сырья требованиям ГОСТ, на материале массовых его поставок, показало, что в составе сортиментов и кряжей сухопутной доставки 16% объема сырья было по тем или иным причинам некондиционным. Основные причины, вызвавшие некондиционность фанерного сырья, следующие: несоблюдение установленной длины сортиментов, удельного веса в поставках тонкомера (толщиной 16...18 см); несоответствие норм допуска сучков, кривизны, закомелистости и некоторые другие пороки древесины.

Характеристика некондиционной древесины, поставляемой на фанерные предприятия, приведена в таблице 2.2.

Возможность поставки некондиционного древесного сырья на фанерные предприятия предопределяется рядом условий. Отрицательное воздействие на контроль количества и качества поставляемого сырья оказывают напряженный характер лесосырьевого обеспечения фанерных предприятий, наблюдающийся в отдельных районах дефицит сырьевых ресурсов требуемого качества и размеров. Это приводит к тому, что в сферу потребления нередко направляется часть сырья, по своим характеристикам не отвечающего

Т а б л и ц а 2.2 — Характеристика некачественной древесины, поставляемой на фанерные предприятия

Причина снижения качества	Объем, %
Заниженная длина	3,4
Завышенные нормы допуска	8,8
В том числе:	
табачных и рыхлых сучков	1,0
кривизны	0,2
внутренней гнили	1,1
открытой прорости	1,0
заросшей прорости	0,4
морозобойных трещин	0,8
прочих пороков	4,3

требованиям стандартов. Фанерные предприятия обычно получают древесину от лесозаготовителей неритмично, с частым нарушением леспромхозами утвержденных графиков поставок. Избыточный приток сырья характерен также для периодов перевыполнения лесозаготовителями планов заготовки древесины, при наличии благоприятных транспортных возможностей. Вследствие недостатка технических средств и разгрузочных площадей, жесткого временного регламента разгрузочных работ, вызванного необходимостью быстрого освобождения транспортных средств, подъездных путей, водных акваторий в периоды массовых поставок древесины приемка сырья осуществляется не всегда качественно.

Многие фанерные предприятия, особенно расположенные в регионах, где сырьевые ресурсы в значительной степени уже выработаны, получают сырье от большого количества поставщиков. Несоответствие сортности значительно проявляется при приемке сырья в хлыстах, поскольку такие дефекты, как ложное ядро, внутренняя гниль, заросшие прорости, торцовые трещины и другие внутренние пороки древесины, достаточно наглядны только при раскряжевке хлыстов на сортименты. Поэтому фактический выход фанерного сырья высшего сорта из хлыстов нередко оказывается несколько меньше, чем по оценке его поставщиками. Предупреждению количественных и качественных потерь древесины при приемке ее от поставщиков способствует надлежащая организация систематического контроля за поставками сырья в сфере его потребления. К недостаткам осуществляемого на фанерных предприятиях входного контроля за поступившим сырьем следует отнести следующие характеристики: *размерная* (несистематическая проверка соответствия фактической длины и припусков по длине фанерных сортиментов и кряжей требованиям и соответствие количества тонкомера (16...18 см) допускаемому к поставке объему); *качественная* (отсутствие проверки длины кондиционной части кряжей (в отношении соблюдения требования выхода из одного кряжа не менее двух сортиментов), редкое применение оценки состояния древесины сортимента по выборочной обрезке его торца и некоторые другие) [59]. Приведенные в литературных источниках данные не всегда отражают фактические значения качественных характеристик сырья. Отсутствие методов точных измерений параметров круглых лесоматериалов приводит к неизбежным погрешностям при их учете

и приемке. В результате значительно повышается доля неучтенных пороков и заниженные числовые значения их параметров. При этом часть сырья, подаваемого в цех для переработки, может иметь невысокий коэффициент выхода, что приводит к снижению энергоэффективности отдельных операций и всего производства в целом.

2.1.1 Характеристики фанерного сырья и особенности его учета

Размерная характеристики фанерного сырья. Характеристика фанерного сырья, поступающего на предприятия Республики Беларусь, в значительной степени влияет на объемный выход шпона при лущении. Наибольшие потери при обработке происходят из-за неправильной формы сортиментов, при этом усложняются операции оцилиндровки и центрирования. Такое положение особенно характерно для сортиментов малых и средних диаметров (см. табл. 2.1).

Результаты исследования моделей сортиментов дают основание считать, что некоторые виды пороков (в частности простая кривизна), для диаметров 16...20 см, могут привести к значительным потерям древесного сырья (3...13%).

При возникновении ошибки центрирования потери могут увеличиться до 20% и более. Общий объем сырья в значительной степени зависит от составляющих производства. Измерение характеристик сырья проводилось стандартными методами. Количество и характерные признаки сортиментов и кряжей фиксировалось в специальном журнале наблюдений. После измерений данные обрабатывались с помощью компьютерных программ. Количество сырья в течение фиксированного времени, поступившего на производство, представлено в таблице 2.3. Из таблицы следует, что наибольшее количество кряжей, поступающих на предприятие, имеет диаметр 20 и 22 см.

Точное значение среднего диаметра кряжей, поступающих на предприятие (ФСК г. Гомеля), получено в результате последующих статистических расчетов. В соответствии с результатами измерений выборочной партии кряжей их размерные характеристики представлены на диаграмме (рис. 2.1).

Т а б л и ц а 2.3 — Количественный состав сырья, поступившего на фанерное предприятие за отчетный период времени

Диаметр поступившего сырья, см	Объем сырья, м ³		
	фанерного	спиченного	пиловочного
16	57,25	6,14	2,28
18	140,58	17,19	4,48
20	183,80	20,28	6,97
22	181,56	13,78	6,56
24	168,53	14,41	6,57
26	149,41	9,29	4,35
28	117,56	9,72	3,45
30	119,51	6,60	1,33
32	87,27	6,26	0,90
34	75,25	4,38	0,68
36	58,23	3,78	0,38
38	36,31	2,52	—
40	34,86	—	0,46
42	13,05	0,25	—
44	7,76	—	—
46	4,32	—	—
48	1,31	—	—
50	1,44	—	—

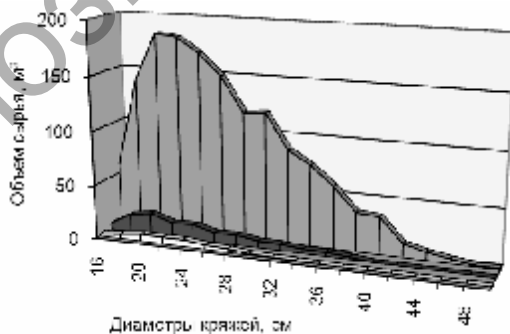


Рисунок 2.1 — Общий объемный показатель размерной характеристики сырья для предприятия

Проведенные экспериментальные исследования дают возможность установить среднестатистические параметры кряжей и сортиментов. Для дальнейших исследований был проведен анализ данных с помощью статистических критериев.

Кряжи, измеренные на участке раскроя, имеют различные виды пороков формы ствола. Измерения этих параметров проводились ручным инструментом по установленным правилам. Анализ размерных характеристик (таблица 2.4) показывает, что в составе сырья значительное место занимают кряжи малых и средних диаметров (более 40%). Средний диаметр фанерных кряжей составил 23,5 см. Длина поступающих кряжей составляет 3,2; 4,8; 6,4 м.

В качестве наиболее удобных и наглядных методов для проверки результатов измерений был принят метод графической проверки гипотез на основе квантилей (рис.2.2)

Для анализа были проведены вспомогательные вычисления с учетом табличных значений квантилей. Графическая интерпретация и результаты вычислений представлены на рисунке 2.2 и в таблице 2.5.

Анализируя приведенную диаграмму (см. рис. 2.2), можно визуально оценить приведенную выборку. Точки, которые соответствуют измеренным данным, располагаются вблизи прямой, поэтому нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении X . Математическое ожидание соответствует средней величине (в данном случае диаметру) и определяется координатами точки пересечения прямой с осью OX . Приблизительное значение этой величины — 23 см. Среднее квадратичное отклонение также определяется по графику,

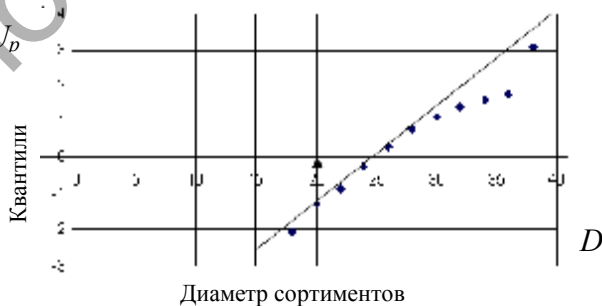


Рисунок 2.2 — Диаграмма распределения параметров выборки

Т а б л и ц а 2.4 — Распределение фанерных кражей по диаметрам

Номер интервалов	Границы интервалов	Частота	Номер интервалов	Границы интервалов	Частота
1	16...18	2	7	28...30	8
2	18...20	13	8	30...32	9
3	20...22	12	9	32...34	7
4	22...24	16	10	34...36	3
5	24...26	17	11	36...38	2
6	26...28	15			

Т а б л и ц а 2.5 — Интервальные характеристики выборки фанерных кражей

Номер интервала	Правая граница интервала	Частота	Накопленная частота	Относительная частота, %	Квантили
1	18	2	2	2	-2,054
2	20	13	15	14	-1,265
3	22	12	27	26	-0,830
4	24	16	43	41	-0,228
5	26	17	60	58	0,330
6	28	15	75	72	0,837
7	30	8	83	80	1,128
8	32	9	92	88	1,418
9	34	7	99	95	1,600
10	36	3	102	98	1,780
11	38	2	104	100	3,090

его численное значение приблизительно равно 4 см. Метод спрямленных диаграмм отличается простотой и наглядностью, но имеет существенный недостаток — сравнительно грубая оценка значений.

При необходимости могут быть использованы более точные результаты оценивания. Для этого чаще всего применяется критерий согласия Пирсона. Расчет производился в несколько этапов:

1. Используя метод произведений, определялись моменты первого и второго порядка.

2. Определялись теоретические частоты распределения признака в выборке.

3. Сравнивались выборочные и теоретические частоты признака.

Распределение, показанное в следующей таблице, задано в виде последовательности равноотстоящих вариантов и соответствующих им частот:

Показатель	Значение										
Варианты x_i	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37
Частота m	2	13	12	16	17	15	8	9	7	3	2

Получены следующие результаты:

- 1) момент первого порядка $M_1 = 0,25$;
- 2) момент второго порядка $M_2 = 5,77$;
- 3) выборочное среднее $\bar{x}_в = 25,5$;
- 4) выборочная дисперсия $D_в = 22,83$;
- 5) среднеквадратичное отклонение $\sigma_в = 4,27$.

Анализ размерных характеристик показывает, что в составе сырья значительное место занимают кряжи малых и средних диаметров (более 40%). Средний диаметр фанерных кряжей по выборочным данным (108 шт.), составил 25,5 см, а по выборке сортиментов (235 шт.) — 22,09 см. Длина поступающих кряжей 3,2; 4,8; 6,4 м, преобладающая длина обрабатываемых на основном оборудовании сортиментов — 1,6 м.

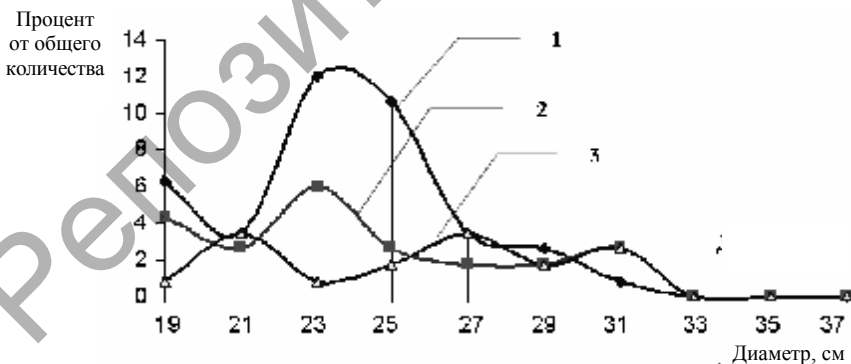
Качественная характеристики фанерного сырья. Древесное сырье для фанерного производства заготавливают по установленным техническим условиям. По этой причине на предприятия поступают кряжи преимущественно I и II сорта. Качество сырья в значительной степени зависит от условий произрастания деревьев. Это объясняет различие в посортном составе. Например, кряжи, поступившие на предприятие из Костюковичского леспромхоза за контрольный период, распределились по сортам следующим образом: I сорт — 39%, II сорт — 61%. Из Мозырьского леспромхоза за этот же период поступило сырье I сорта — 46%, II сорта — 54%.

Общее распределение сырья, поступившего на предприятие: I сорт — 34%, II сорт — 66%.

На основании измерений можно сделать вывод, что наличие пороков формы ствола уже на этапе раскряжевки создает сложности для операторов. Результаты исследования моделей сортиментов дают основание считать, что некоторые виды пороков (в частности простая кривизна), для диаметров 16...20 см, могут привести к значительным потерям древесного сырья (3...13%). При возникновении ошибки центрирования потери могут увеличиться до 20% и более [59].

Эта информация получена из литературных источников и требует экспериментального подтверждения. Первым этапом систематизации и проверки данных послужили производственные измерения. Выборочное исследование качественных характеристик кряжей и сортиментов позволило установить общие закономерности и произвести анализ отдельных признаков. Диаграмма распределения пороков формы древесного ствола для кряжей, в зависимости от диаметров, показана на рисунке 2.3.

Фанерные сортименты содержат меньший процент пороков, по сравнению с кряжами, так как при раскряжевке уменьшается длина дефектных участков.



1 — кривизна; 2 — закомелитость; 3 — сбег

Рисунок 2.3 — Распределение пороков формы ствола для кряжей в зависимости от диаметра

Для подтверждения гипотезы о том, что распределение признака в выборке согласуется с распределением в генеральной совокупности, был использован критерий Пирсона. В нашем случае в качестве признаков были рассмотрены пороки формы древесного ствола: кривизна, закомелистость, овальность. Исследования показали, что в данной выборке большинство пороков формы сортиментов распределены ненормально (табл. 2.6).

Это можно объяснить произвольной последовательностью подачи сортиментов после распиловки и предварительной сортировки. Такие пороки, как овальность, встречаются довольно редко, но, как показал статистический анализ, их распределение по диаметрам в общем составе сортиментов имеет нормальный вид. Статистические параметры рассмотренных последовательностей представляют определенный интерес и представлены в таблице 2.7.

Т а б л и ц а 2.6 — Частота появления пороков в выборочной партии сортиментов

Порок древесины, %	Диаметр, см							
	18...20	20...22	22...24	24...26	26...28	28...30	30...32	32...34
Кривизна	17,0	3,5	12,0	10,6	3,5	2,6	0,8	0,0
Закомелистость	4,4	2,6	6,0	2,6	1,7	1,7	2,6	0,0
Сбег	0,8	3,5	0,8	1,7	3,5	1,7	2,6	0,0
Овальность	4,4	0,8	0,0	0,8	0,0	1,7	2,6	0,8

Т а б л и ц а 2.7 — Статистические показатели распределения признаков

Параметр для расчета	Статистический показатель						
	M_1	M_2	\bar{x}_B	D_B	u_B	$\chi^2_{набл.}$	χ^2_T
Количественный состав	1,54	6,96	22,09	18,25	4,27	51,10	14,10
Кривизна ствола	2,12	7,87	21,20	13,40	3,66	8,70	12,10
Закомелистость	0,31	2,94	23,60	11,39	3,37	5,20	7,80
Сбежистость	0,19	1,80	22,61	7,09	2,66	9,50	7,80
Овальность	1,56	6,22	27,88	15,20	3,90	6,90	9,50

Примечание. M_1 — момент первого порядка; M_2 — момент второго порядка; \bar{x}_B — выборочное среднее; D_B — выборочная дисперсия u_B — среднеквадратичное отклонение $\chi^2_{набл.}$ — статистический показатель (по наблюдениям) χ^2_T — статистический показатель (табличный)

В данной таблице приведены сводные показатели статистической обработки данных по выборке. Исходя из критерия согласия Пирсона, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = s - 3$, нормальным может считаться распределение таких параметров, как закомелистость и овальность.

Анализируя числовые значения $\chi^2_{\text{набл.}}$ для сбежистости и кривизны лесоматериалов, можно предположить их соответствие нормальному закону распределения.

Показательным является соответствие сортиментов определенных диаметров различным видам пороков, например, для сортиментов диаметром 21 см характерно наличие кривизны, для диаметра 23 см — закомелистости, для диаметра 28 см — овальности. На основе проведенных исследований получены следующие уравнения, позволяющие прогнозировать среднее количество сортиментов с различными видами пороков в зависимости от их диаметра:

а) для сортиментов с пороками в виде кривизны ствола:

$$y = 0,0005x^6 - 0,0798x^5 + 5,3194x^4 - 187,61x^3 + 3692,7x^2 - 38\,441x + 165\,290;$$
$$R^2 = 0,9912;$$

б) для сортиментов с пороками в виде закомелистости:

$$y = 0,0003x^6 - 0,0455x^5 + 3,0135x^4 - 105,51x^3 + 2060,4x^2 - 21\,272x + 90\,699;$$
$$R^2 = 0,9496;$$

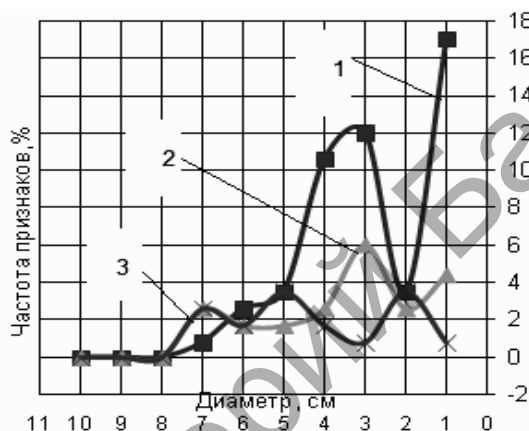
в) для сортиментов с пороками в виде сбежистости:

$$y = -0,0004x^6 + 0,0568x^5 - 3,7033x^4 + 127,95x^3 - 2468,9x^2 - 25\,223x - 106\,555;$$
$$R^2 = 0,9628;$$

где x — диаметр сортиментов;

R^2 — коэффициент достоверности аппроксимации.

Для кряжей признаки распределились следующим образом: кривизна — 36%; закомелость — 19,4%; сбежистость — 9% (объем выборки — 103 кряжа). Для сортиментов распределение признаков выглядит так: кривизна — 29,5%; закомелость — 10%; сбежистость — 10,4%; овальность — 5,8% (объем выборки — 235 сортиментов) (рис. 2.4).



1 — кривизна; 2 — закомелость; 3 — сбеж

Рисунок 2.4 — Распределение основных видов пороков для различных диаметров сортиментов

Для количественной оценки соотношения пороков были сопоставлены значения каждого вида для кряжей и сортиментов. Так как сортименты являются составными частями кряжей, значения процентного состава пороков изменились. Количественные характеристики признаков представлены на диаграмме (рис. 2.5). Следовательно, по данным выборочного метода можно сделать вывод о значимости этих видов пороков в общем объеме поступающего и обрабатываемого сырья и предположить долевого процент каждого типа пороков.

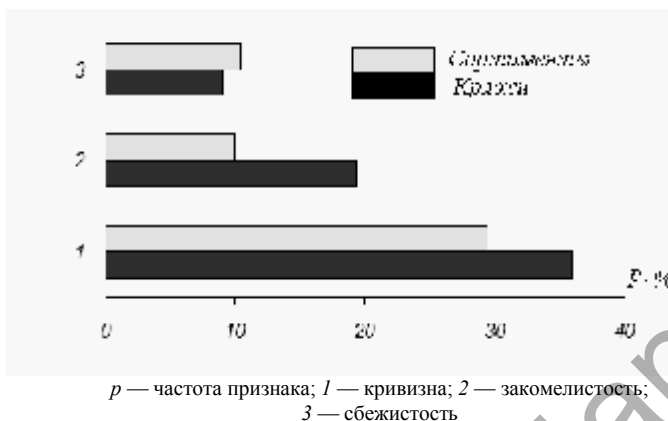


Рисунок 2.5 — Процентный состав пороков в объеме выборки

Приведенные результаты дают основание для компьютерного моделирования выявленных пороков формы ствола с целью совершенствования процесса лущения, что в свою очередь будет способствовать увеличению объемного выхода шпона и повышению энергоэффективности оборудования.

2.2 Планирование образования и использования отходов фанерного производства

Фанерное производство, несмотря на внедрение прогрессивной техники и технологии, остается материалоемкой отраслью промышленности. Затраты на сырье в отрасли составляют 60% себестоимости продукции, а удельный вес древесных отходов превышает 50%. Использование этих отходов происходит далеко не самым оптимальным образом. Основная масса используется на топливо, а часть просто вывозится в отвалы. Опыт передовых предприятий в России и за рубежом показывает, что существует множество способов рационального и комплексного использования древесного сырья в полном его объеме с получением десятков наименований продукции, пользующейся спросом в самых различных отраслях промышленности и сферы потребления [24; 28].

Отходы фанерного производства — ценное вторичное сырье, годное для промышленной переработки и использования на топливно-энергетические нужды. Наиболее предпочитаемыми размерно-качественные характеристики, с точки зрения использования, имеют крупномерные отходы, которые сохраняют все свойства природной древесины и основные размеры сырья. Наибольший интерес представляют карандаши и отструги, не имеющие коры. Кусковые отходы отличаются большим видовым разнообразием и неопределенностью размеров. Они могут содержать кору (до 35%) либо затвердевшую смолу (до 15%) в обрезках фанеры. Преимущества этих отходов — в стабильности толщины, в сравнительно большой длине. Шпон-рванина, кроме того, представляет наиболее здоровую периферийную часть ствола [59].

Ценность мягких отходов заключается в том, что их можно использовать без доизмельчения, а иногда и без сушки (древесная пыль, опилки при обрезке фанеры). Наиболее специфическим вторичным сырьем является кора, которая не вошла в классификационную таблицу. При этом кора имеет и особые химические свойства, различные у разных пород древесины. Общие ресурсы отходов в фанерной и спичечной промышленности потенциально составляют 56,6% перерабатываемого сырья, из них крупномерные примерно 32%, кусковые 60% и мягкие 8%. Отходы окорки не входят в баланс древесины, их объем оценивается примерно в 12,5% общего объема сырья.

Данная классификация отходов и потерь по видам применяется при определении объемов образования отходов фанерного производства, а также и при планировании их использования по различным направлениям [23; 59]. Потери древесины на усушку и упресовку являются безвозвратными. Отходы фанерного производства классифицируются по размерам на кусковые, мягкие и кору. К кусковым относятся все виды перечисленных выше отходов, кроме опилок, пыли шлифовальной, отнесенных к мягким, и коры, выделенной в самостоятельную группу отходов. Отходы и потери древесины в фанерном производстве составляют более половины переработанного фанерного сырья (от 59 до 68% для различных марок фанеры [8; 83; 85]). Их образование происходит в основном на следующих стадиях производства: лущение шпона, сушка шпона, склеивание и обрезка фанеры. Наибольшее количество отходов

появляется при лущении шпона — 41,2...45,6%; а 12...14,2% из этого количества составляют карандаши (неиспользуемая цилиндрическая часть сортимента) и 29,2...31,4% — шпон-рванина (куски сырого шпона при оцилиндровке сортимента и резке ленты шпона на ножницах).

Значительная потеря древесины при сушке шпона — это уменьшение объема шпона из-за усушки — 4,9...5,3% от объема сырья. При обработке сухого шпона расходуются ленты шпона для починки, в результате прирубки и прифуговки шпона перед ребросклеиванием образуются обрезки шпона. Отходы при этом составляют 1,4...1,5% от объема сырья [83].

Значительное количество древесины теряется при склеивании фанеры вследствие уплотнения древесины — упрессовки (5...15% от объема сырья в зависимости от марки фанеры). При обрезке фанеры отходы составляют 3,6...4,3% от объема сырья в виде обрезков фанеры и опилок. При шлифовании фанеры (в основном отправляемой на экспорт) образуются отходы в виде шлифовальной пыли в количестве 2,5...3% от объема сырья.

Кроме того, на биржах фанерных предприятий сверх учитываемого объема поставляемого сырья образуются кусковые отходы (биржевой отпад) и опилки при раскряжевке и торцовке кряжей в количестве 1,5...2,5% от перерабатываемого сырья. На биржах сырья также образуются отходы в виде коры (10...13%).

Планирование объемов образования отходов фанерного производства включает в себя: а) определение объема образования отходов в производстве сухого шпона с последующим его распределением по видам отходов и потерь и выявлением объема отходов, годных к использованию; б) определение объема образования отходов в производстве фанеры и другой фанерной продукции с последующим его распределением по видам отходов и потерь и выявлением объема отходов, годных к использованию; в) определение общего объема образования отходов фанерного производства, годных к использованию.

В настоящее время отходы фанерного производства, в основном в виде карандашей, передаются другим предприятиям для переработки на плиты.

После завершения планирования использования отходов на технологические нужды планируют возможные направления использования

отходов на топливно-энергетические нужды. Оставшиеся после распределения на технологические нужды отходы направляют, прежде всего, на использование в качестве топлива в паросиловом хозяйстве предприятия: на обеспечение топливно-энергетических нужд (выработка пара для технологических целей и отопления).

2.3 Применение параметрических моделей для точного определения геометрических параметров и размеров фанерных кряжей и сортиментов

2.3.1 Математические методы описания поверхности круглых лесоматериалов

Моделирование геометрической формы фанерных сортиментов проводится путем измерений координат поверхности в дискретном наборе точек. Задача моделирования формы поверхности по измеренному набору координат точек на реальной поверхности позволяет получить точное отображение размерных и геометрических характеристик. Если будет построена модель поверхности, ее можно использовать для исследования технологических операций и расчета отдельных критериев. Построение аналитической или алгоритмической модели геометрической формы с заданными характеристиками относится к геометрическому моделированию. Теоретической основой геометрического моделирования являются математические методы, алгоритмы и подходы, ориентированные на широкое применение компьютерных систем. В процессе геометрического моделирования с помощью компьютерных систем выделяют следующие критерии модели: соответствие исходным данным (обеспечивает правильность выводов, сделанных на основе модели); гладкость форм и обводов построенной модели (необходимо для соответствия гладкости реальному объекту, несмотря на дискретность исходным данным. Уравнением гладкости можно варьировать при составлении грубых и точных моделей); использование диалога в процессе построения модели (позволяет учесть специфические особенности модели и использовать нужный алгоритм на этапе ее создания) [22].

В процессе геометрического моделирования решаются два различных типа задач: 1) задача интерполяции объекта по имеющимся данным; 2) задача моделирования и формирования сложных поверхностей. При разработке базовой модели фанерного сортимента, которую можно использовать для исследования технологических операций, преимущественно рассматриваются вопросы интерполяции формы объекта по измеренным данным, полученным с помощью контрольно-измерительных устройств. Задача является метрологическим аспектом проблемы геометрического моделирования.

Построение математической модели. Начальным шагом по созданию математической модели геометрического объекта (профиль или поверхность) в рамках задачи интерполяции является его оцифровывание, т. е. снятие данных (координат точек) на различных его сечениях. Оцифровывание объекта контроля проводится с помощью специального контрольно-измерительного оборудования, координатно-измерительных машин, лазерного устройства. Процесс «снятия данных», как правило, упорядочен. Для построения качественной математической геометрической модели объекта данные оцифровываются по сечениям в определенном порядке. Для решения этой задачи была разработана специальная установка с лазерным указателем точки измеряемых координат.

Результатом измерений реальной поверхности или профиля является набор измеренных точек, точнее, их координаты $\{x_i, y_i, z_i\}$, где $i=1, \dots, n$ — набор точек или узлы интерполяции. При этом порядок соответствует порядку обхода по измеряемому контуру. Теперь для последующей работы с объектом моделирования необходимо дать математическую интерпретацию измеренным значениям и получить зависимость вида

$F(x, y, z) = 0$ — для трехмерного случая;

$F(x, y) = 0$ — для двухмерного случая.

Методика с использованием сплайн-интерполяции предусматривает моделирование с расширенной измерительной информацией с целью лучшего приближения его к реальной форме, существенно улучшает достоверность и надежность проводимо-

го контроля [116; 118]. Переход от классических интерполяционных многочленов к сплайнам существенно повышает также качество приближения. Проблемы программной реализации метода заключается в подборе соответствующей компьютерной системы проектирования, в которой используется интерполяция с помощью сплайн-функций.

Методы описания поверхностей круглых лесоматериалов формировались с помощью усредненных параметров, которые определялись аналитическим путем. Например, модель бревна строилась по эмпирическим коэффициентам кривизны, овальности и сбежистости. В соответствии с классическими методами интерполяции, рассмотренными в работах Н. П. Анучина и М. С. Розенблита, эллипсоидная модель строится на основе следующих уравнений:

$$a(z) = d_{0,5} \sqrt{2(1 - z/L_x)} + \sum_{i=0}^4 q_i (z/L_x)^i,$$

$$b(z) = d_{0,5} \sqrt{2(1 - z/L_x)} + \sum_{i=0}^4 p_i (z/L_x)^i,$$

где $a = a(z)$ — горизонтальная полуось эллипса, т. е. полуось, параллельная OX ;

$d_{0,5}$ — диаметр хлыста на высоте, равной половине его длины;

L_x — длина сортифта;

q_i, p_i — коэффициенты;

$b = b(z)$ — вертикальная полуось, параллельная оси OY ;

z — координаты точки ($0 \leq z \leq L_x$).

Тогда поверхность хлыста описывается уравнением

$$\left(\frac{x - f_1(z)}{a(z)} \right)^2 + \left(\frac{y - f_2(z)}{b(z)} \right)^2 = 1.$$

Функции, описывающие кривизну в хлыстах $f(z)$, обычно являются многоэкстремальными, так как хлыст может иметь несколько волн кривизны. Подобным требованиям удовлетворяют многочлены достаточно высокой степени:

$$f(z) = (c_0 + c_1z + c_2z^2 + c_3z^3) \cdot \sin [w(z) + \alpha],$$

где $\sin[w(z) + \alpha]$ — функция, определяющая изменение кривизны ствола.

Анализируя приведенный метод, можно сделать вывод о существенных ограничениях его использования, так как изменения геометрической формы ствола строго индивидуальны для каждого сортимента.

Особым видом функций, используемых в задачах интерполяции, являются кусочно-многочленные функции типа сплайнов. Основные преимущества таких составных функций — гибкость и простота алгоритмической реализации. В практике наиболее часто используются кубические сплайны, которые обеспечивают заданную гладкость всей интерполируемой кривой. Такой кубический сплайн на каждом участке (t_i, t_{i+1}) имеет вид

$$S^i(t) = \sum_{j=0}^3 \alpha'_j (t - t_i)^j,$$

где $i = 0, \dots, N-1$, α'_k — параметры, которые вычисляются с привлечением дополнительных условий гладкости сплайн-функции.

Более совершенным и гибким является метод интерполяции с помощью сплайн-функций [116]. Формирование сплайновых моделей, в соответствии с описанием, выполняется при помощи интерполяционных бикубических сплайнов:

$$X(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 a_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_j)^l,$$

$$Y(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 b_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_i)^l,$$

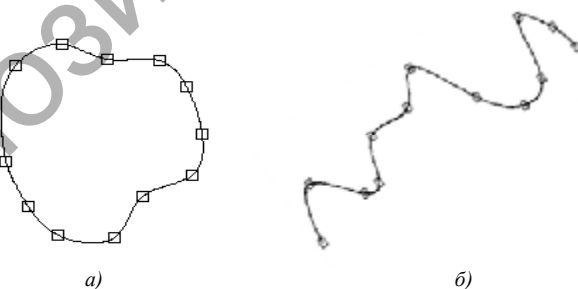
$$Z(t, s) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 c_{ij}^{kl} (t - t_i)^k (s - s_i)^l,$$

где $X(t, s), Y(t, s), Z(t, s)$ — некоторые однозначные достаточно гладкие функции двух переменных.

Эффективность интерполяции сплайнами привела к появлению большого разнообразия методов и приемов работы с ними, что позволяет широко использовать их в различных системах геометрического моделирования (рис. 2.6). Достоинства этих методов описаны в работах зарубежных авторов [121—124].

Современное программное обеспечение позволяет значительно расширить применение метода и использовать его для разработки новых способов и технологии.

При выполнении исследований были использованы инструментальные возможности моделирования поверхности сортиментов при помощи замкнутых и разомкнутых сплайн-функций. Преимущества современного программного обеспечения дают расширенные



a — замкнутая сплайн-функция (12 узлов); *б* — разомкнутая сплайн-функция (13 узлов)

Рисунок 2.6 — Кривые, смоделированные с помощью сплайн-функций

возможности при решении вопросов, связанных с модернизацией и разработкой новых технологий в фанерном производстве. В частности, для разработки ресурсосберегающей технологии лущения и новых методов измерения геометрических характеристик сырья и оптимального базирования были использованы многоузловые сплайн-функции разомкнутого и замкнутого типа.

2.3.2 Моделирование круглых лесоматериалов

В настоящее время объем бревен всех пород определяют по единому ГОСТ 2708 без учета особенностей их формы, характеризующей полнодревесность бревен каждой породы.

Результаты исследования круглых лесоматериалов показали, что фактические величины объема заданных толщины (диаметра), длины и сбежистости в большинстве случаев значительно отличаются от стандартных [9; 10; 13]. Поскольку объем цилиндрической зоны бревен одного диаметра и одной длины является постоянной величиной, разность между величинами объема определяется только сбегом.

В современных процессах лесопиления (за исключением специальных) сбеговую часть бревен используют преимущественно для получения попутной продукции, прежде всего щепы. Если в расчетах величины выхода попутной продукции (щепы) задействовать фактические величины объема бревен, а не стандартные, то система планирования ее производства, хранения и реализации будет более адекватной [18].

Для определения фактической величины объема бревен была измерена сбежистость более 2 500 бревен разной вырезки (с охватом каждой десятой доли длины от комлевого конца). Это позволило определить среднеарифметические значения коэффициента сбега бревен комлевой, срединной и вершинной вырезки из хлыста, а в итоге — получить регрессионные математические формулы зависимости D (диаметра бревна каждого из названных типов в месте измерения его величины) от x (отношения расстояния между комлем и упомянутым местом измерения к длине бревна). Найденные формулы представляют собой многочлены второй степени:

$$D(x) = d_b(1,40 - 0,433x + 0,033x^2); \quad (1)$$

$$D(x) = d_b(1,189 - 0,18x + 0,009x^2); \quad (2)$$

$$D(x) = d_b(1,32 - 0,29x + 0,03x^2). \quad (3)$$

где d_b — диаметр бревна в вершинном торце, см.

Коэффициент сбега бревен $K = D / d$ (где d и D — их вершинный и комлевой диаметры). Установлено, что средневзвешенное значение экспериментальных величин K бревен комлевой вырезки равно 1,4; срединной — 1,19; вершинной — 1,32.

Обобщенная регрессионная математическая формула для определения V_ϕ — фактической величины объема бревна (комлевого, срединного или вершинного) — имеет следующий вид:

$$V_\phi = L \frac{\pi}{4} \int_0^1 D^2(x) dx,$$

где L — длина бревна, м;

$D(x)$ — левая часть формулы (1), или (2), или (3).

На предприятиях доли бревен разной вырезки в их общем объеме не учитывают, поэтому для выделенных групп бревен разной толщины найдена регрессионная математическая формула зависимости D бревна (с охватом всех вырезанных из хлыстов бревен без классификации по месту вырезки) от x .

Для бревен длиной 4,0...5,25 м:

при d (диаметре среднестатистического бревна) равном 18 см

$$D(x) = d_b(1,25 - 0,24x - 0,01x^2);$$

при $d = 28$ см —

$$D(x) = d_b(1,265 - 0,255x - 0,01x^2);$$

при $d = 38$ см —

$$D(x) = d_b(1,285 - 0,291x - 0,006x^2);$$

при $d = 48$ см —

$$D(x) = d_b(1,319 - 0,33x - 0,011x^2);$$

Для бревен длиной 5,5...6,5м:

при $d = 18$ см —

$$D(x) = d_b(1,282 - 0,27x - 0,012x^2);$$

при $d = 28$ см —

$$D(x) = d_b(1,268 - 0,271x + 0,003x^2);$$

при $d = 38$ см —

$$D(x) = d_b(1,283 - 0,294x + 0,011x^2);$$

при $d = 48$ см —

$$D(x) = d_b(1,369 - 0,382x + 0,013x^2).$$

Дополнительно определена регрессионная зависимость D от x для всего сырья без учета места вырезки бревен из хлыста:

$$D(x) = d_g(1,27 - 0,259x - 0,011x^2). \quad (4)$$

С учетом формулы (4) были определены фактические величины объема бревен V_{ϕ} всех четных диаметров разной длины. Отношение разности между фактической величиной объема бревна и стандартной к последней составило 7...19%. Как показали проведенные исследования, использование рассмотренного метода, вместо метода по ГОСТ 2708, позволяет с большей точностью определять величины объема бревен разных пород (табл. 2.8).

Т а б л и ц а 2.8 — Значения объема круглых лесоматериалов при разном значении коэффициентов сбега

Диаметр бревен, см	Величины объема бревен, м ³			Коэффициенты, %	
	стандартная $V_{ст}$	фактическая $V_{ф}$	параболическая $V_{п}$	ϕ_1	ϕ_2
14	0,108	0,102	0,160	0,54	-1,85
18	0,175	0,182	0,1830	0,55	-4,00
22	0,255	0,271	0,2730	0,73	-6,27
26	0,350	0,379	0,3815	0,70	-6,70
30	0,470	0,504	0,5080	0,75	-7,23
34	0,600	0,648	0,6524	0,74	-7,93
38	0,740	0,809	0,8150	0,74	-9,32
42	0,900	0,988	0,9955	0,75	-9,78
46	1,080	1,185	1,1940	0,75	-9,72
50	1,280	1,401	1,4110	0,71	-9,45
54	1,500	1,634	1,6456	0,71	-8,93
58	1,740	1,885	1,8980	0,69	-8,33

В классической теории раскря бревен считают, что бревно представляет собой усеченный параболоид [36], объем V_6 которого в преобразованном нами виде с введением коэффициента сбега K имеет вид

$$V_6 = 0,125\pi d^2(K^2 + 1),$$

где d — диаметр бревна.

Эта зависимость, по сравнению с регрессионными, является достаточно гибкой, так как позволяет определять объем бревен при любых значениях коэффициента сбега. Результаты экспериментальных исследований объемных показателей представлены в таблице 2.8.

В таблице приведены величины объема бревен длиной 5,5 м: стандартная ($V_{ст}$), фактическая ($V_{ф}$) и параболическая ($V_{п}$) определяли по расчетным формулам. Для оценки значимости разности между этими величинами определены коэффициенты ϕ_1, ϕ_2 (%):

$$\phi_1 = 100(V_{п} - V_{ф})V_{п}^{-1},$$

$$\phi_2 = 100(V_{п} - V_{ф})V_{ст}^{-1}.$$

Коэффициент φ_1 характеризует значимость разности между V_{Π} и V , а φ_2 — разности между $V_{ст}$ и V_{ϕ} . Формулы зависимости φ_1 и φ_2 от диаметра бревна d , см, имеют следующий вид:

$$\varphi_1 = 0,147 + 0,031d - 0,0004d^2,$$

$$\varphi_2 = -5,238 + 0,66d - 0,007d^2,$$

Графики зависимости представлены на рисунке 2.7.

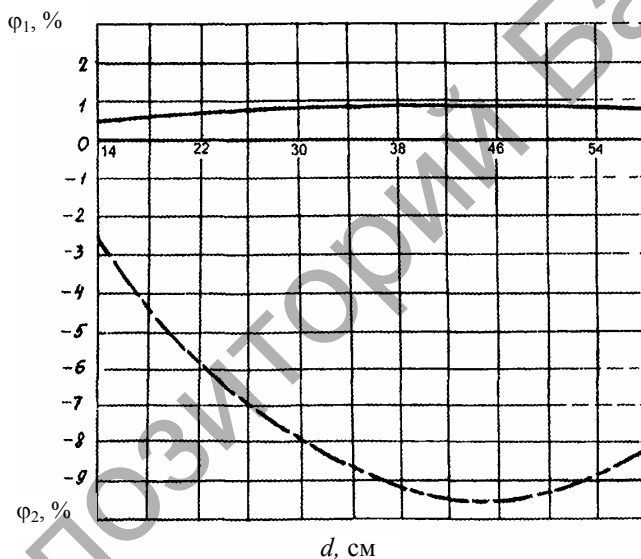


Рисунок 2.7 — Графики зависимости коэффициентов φ_1, φ_2 от диаметра бревна

Анализ полученных данных показывает, что φ_1 для бревен всех диаметров меньше 0,9%. Таким образом, разность между параболической величиной объема бревна и фактической незначительна,

а вот стандартная величина объема бревна значительно меньше фактической: абсолютное значение φ_2 составляет от 2,5 до 9,5%.

Исследования показали [34; 36], что для улучшения точности расчета величин объемного выхода пиломатериалов V и попутной продукции (щепы), стандартную величину объема бревна $V_{ст}$ надо умножить на $(1 - 0,01 \varphi_2)$; отсюда следует, что

$$V = V_{ст} (1 - 0,01 \varphi_2).$$

Обоснования метода позволяют работникам предприятий с достаточной точностью оценивать ресурсы обрабатываемой древесины и возможности ее комплексного использования. Например, при 10 000 бревен средним диаметром 30 см и длиной 5,5 м, стандартная величина их суммарного объема равна 4 700 м³, а фактическая (определенная по расчетным формулам) — 5 100 м³, т. е. на 400 м³ больше. Если коэффициент выхода пиломатериалов составляет 57%, то из этого сырья будет напилено 2 900 м³ пиломатериалов. В соответствии с работой [56; 57] коэффициент выхода попутной продукции (щепы) $K_{в.щ}$ в данном случае исчисляется следующим образом:

$$K_{в.щ} = 73,436 - 0,909 \cdot 57 + 0,00054 \cdot 57 = 23,5\% .$$

Исходя из вышеизложенного следует, что величина отношения суммарного объема бревен длиной 5,5 м к общему объему бревен составляет около 95%.

Если при планировании производственного процесса исходить из стандартной величины суммарного объема бревен, то ожидаемая величина выхода щепы значительно меньше фактической. Таким образом, рассматриваемый метод, учитывающий фактические величины суммарного объема бревен, позволит более четко планировать весь производственный процесс при выработке как основной, так и попутной продукции.

2.4 Влияние пороков фанерного сырья на объемный выход полезной продукции

2.4.1. Методы измерения основных видов пороков формы ствола

Одним из наиболее значимых пороков формы является кривизна [133]. Под **кривизной** (по ГОСТ 2140) понимается отклонение продольной оси сортимента от прямой линии, обусловленное искривлением ствола. Кривизна затрудняет использование круглых лесоматериалов по назначению, увеличивает отходы при раскряжевке и лущении, обуславливает появление на шпоне радиального наклона волокон [133]. По этой причине, в зависимости от назначения сортиментов, необходимо измерять кривизну ствола и устанавливать определенные нормы допуска при обработке древесины. Методы оценки кривизны и ее нормирования в разное время были различными. Например, в 1927-1928 гг., по инструкции на фанерное сырье, односторонняя кривизна нормировалась по величине стрелы прогиба, которая не должна была превышать 4,5 см на 2 м длины. По ОСТ 2618 кривизна нормировалась по величине отношения стрелы прогиба к общей длине сортимента, выраженной в процентах (рис. 2.8).

Такая оценка кривизны была заложена и в других нормативных документах и сохранилась до сегодняшнего дня. Специфика измерения кривизны учитывает усредненные показатели сырья и представляет достаточно большую сложность.

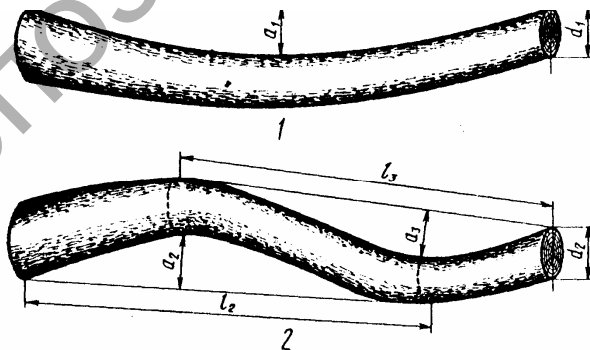
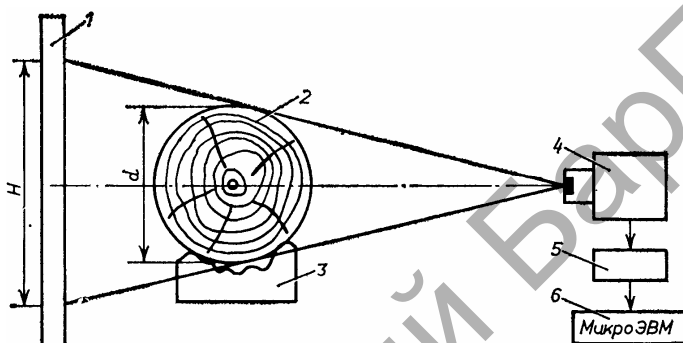


Рисунок 2.8 — Измерение криволинейности формы сортимента

Такое понятие, как продольная ось, в данной ситуации является чисто условным, так как сортимент в большинстве случаев имеет геометрически неправильную форму. Для измерения диаметров бревен их длины и кривизны применяется также телевизионный измеритель (рис. 2.9).



1 — плоский осветитель; 2 — сортимент; 3 — траверса;
4 — телевизионная камера; 5 — АЦП; 6 — микропроцессорная система

Рисунок 2.9 — Телевизионный измеритель геометрических параметров круглых лесоматериалов

Это устройство неконтактного измерения размеров хлыстов, бревен, пиломатериалов [80] состоит из плоского осветителя 1, телевизионной камеры 4 (от обычной промышленной телевизионной установки), преобразователя аналогового сигнала измерения в цифровой код 5 и микропроцессорной системы 6.

Измеряемый объект, например, сортимент 2 диаметром d , перемещается на траверсе 3 конвейера. Сортимент расположен между плоским осветителем и телевизионной камерой 4. Благодаря этому на мишени чувствительного к свету элемента имеются две зоны, одна из которых соответствует тени измеряемого объекта. Размер тени H в плоскости рисунка при прочих равных условиях будет пропорциональным диаметру бревна d , т. е. $H = k_1 d$ (где k_1 — коэффициент пропорциональности). В телевизионной камере происходит преобразование размера тени в электрический сигнал (импульс) длительностью τ .

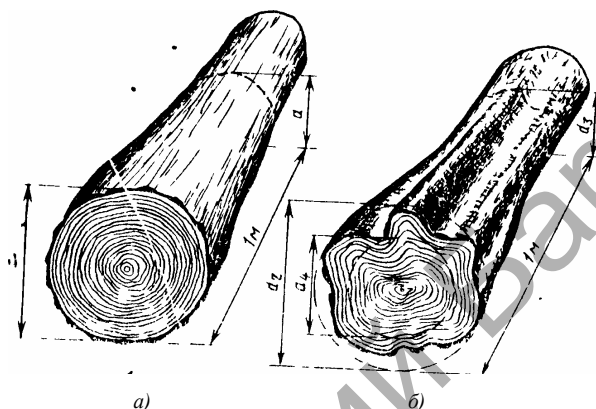
Величина этого сигнала определяется выражением $\tau = k_2 H = k_1 k_2 d$ (где k_2 — коэффициент пропорциональности). В преобразователе аналогового сигнала величина импульса преобразуется в числовой двоичный код, который передается в микропроцессорную систему. Микропроцессор преобразует двоичный код в число, соответствующее диаметру круглых лесоматериалов, произведя вычисления по формуле $d = \tau / k_1 k_2$.

Телевизионный измеритель выполняет несколько десятков и сотен измерений в секунду, т. е. этот датчик автоматически обнаруживает на круглых лесоматериалах аномальные отклонения от средних диаметров на некотором интервале. Эти отклонения возникают за счет сучков, особенностей конструкции конвейеров и т. д. Результаты измерений анализируются микропроцессором, и все подобные ложные измерения отбрасываются. В настоящее время хлысты диаметром до 60 см могут измеряться этим методом с невысокой погрешностью (1 мм).

Телевизионный датчик с микропроцессором позволяет измерять длину круглых лесоматериалов по времени нахождения объекта измерения между осветителем и камерой, а также кривизну хлыстов, движущихся на продольном конвейере. При поперечной подаче хлыстов и бревен под конвейером устанавливают осветительный люк и несколько телевизионных камер над конвейером. Телевизионные камеры соединяются с процессорной системой, при этом измеряются длины и диаметры лесоматериалов в необходимых сечениях. Измерители размеров лесоматериалов такого типа удобно использовать в системах учета объемов и геометрических параметров лесоматериалов при их движении на продольных и поперечных конвейерах. Для учета овальности и кривизны сечений круглых лесоматериалов и повышения точности измерений при продольном перемещении бревен можно использовать две-три камеры с одним микропроцессорным комплектом.

Однако, наряду с многочисленными достоинствами, такие методы имеют и недостатки: низкая точность измерений, сложность практической реализации, постоянно возникающая и неизбежная погрешность, вызванная рельефом поверхности и геометрическими пороками формы ствола лесоматериалов при различном их положении.

Закомелистость, сбежистость и овальность круглых лесоматериалов относятся к порокам формы ствола. Измерение этих видов пороков представляет большую сложность и обычно выполняется с помощью ручного измерительного инструмента (рис. 2.10).



a — измерение округлой закомелистости;
б — измерение ребристой закомелистости

Рисунок 2.10 — Измерение закомелистости лесоматериалов

Сбежистость измеряют по разности между диаметрами нижнего и верхнего торцов сортимента, отнесенной к его длине, и выражают в сантиметрах на 1 м длины или процентах. В комлевых лесоматериалах нижний конец сортимента измеряют на расстоянии 1 м от нижнего торца. При большой длине сортимента процесс измерения осложняется, так как возникает необходимость в его перемещении и повороте. Сложность заключается и в том, что необходимо учитывать параметры в различных направлениях [133; 136; 137].

Округлую и ребристую закомелистость измеряют по разности между диаметрами лесоматериала, измеренными у комлевого торца и на расстоянии 1 м от этого торца. Овальность ствола измеряют по разности между наибольшим и наименьшим диаметрами соответствующего торца лесоматериала [133].

Все перечисленные методы измерения параметров круглых лесоматериалов имеют ряд недостатков, вызванных сложностью

обмера. В результате недостаточно точных числовых значений измеренных параметров, характеризующих размерные и качественные характеристики сырья, осложняется применение критериев, приводимых в соответствующих стандартах.

2.4.2 Разновидности пороков, определяющих качественный и количественный выход шпона

Фанерные сортаменты по форме и порокам отличаются значительным разнообразием. Приведенное распределение сортаментов характерно для различных регионов. Данные, приведенные в таблице 2.9, отражают основные закономерности распределения пороков в фанерном сырье [136; 137].

Овальность. В составе используемого фанерной промышленностью сырья 31,4% сортаментов имеет в той или иной степени выраженную овальность, в том числе 8,8% сортаментов средней и большой овальности. Разнообразие сортаментов определяет эффективность их переработки при лущении и производстве фанеры (табл. 2.9).

Т а б л и ц а 2.9 — Характеристика формы березовых сортаментов

Показатели формы, %	Средняя встречаемость (по количеству) %
Овальность	31,4
В том числе:	
слабая (до 5)	22,6
средняя (6...10)	5,6
большая (более 10)	3,2
Сбежистость	93,3
В том числе:	
слабая (до 2)	28,8
средняя (3...5)	45,4
большая (6 и более)	19,1
Кривизна	38,8
В том числе:	
слабая (1...2)	30,8
средняя (более 2)	8,0

Встречаемость овальности среди тонкомерных сортиментов (до 20 см) — 4...65,1%, толстомерных (28 см и более) — 0...66,7%. У толстомерных сортиментов значительная овальность выражена более сильно, чем у тонкомерных.

Сбег. Абсолютное большинство березовых сортиментов (93,3%) имеет сбег. Численный показатель сбежистости сортиментов в различных регионах более 70% (с большой и средней сбежистостью).

Кривизна. Более половины березовых сортиментов имеют кривизну ствола, но сильно выраженная кривизна характерна для сравнительно небольшой их части (8%). Около 1% всего сырья поставляется с превышением установленных ГОСТ 9462 норм допуска по кривизне.

Сучки. Наиболее распространенный сортообразующий порок березовой древесины сучки. Они встречаются у 69% всех сортиментов. Мелкие заросшие сучки и некоторые другие практически не оставляют следа на сортиментах. Заросшие сучки встречаются более чем у 50% сортиментов, незаросшие — более чем у 40%. Среди незаросших сучков преобладают гнилые, в первую очередь табачные (более 18% сортиментов). Здоровые незаросшие сучки имеются у 17% сортиментов [59; 80].

Среди заросших сучков преобладают сучки с остроугольными бровками (у 31,5% сортиментов), что свидетельствует о близком залегании их к поверхности сортимента. Примерно 8,8% всего количества сырья характеризуется завышенным диаметром табачных сучков.

Ложное ядро. Пораженность березового сырья ложным ядром в последние годы заметно возросла. Сильно развитое ложное ядро (с шириной свободной от ложного ядра зоны до 5 см) встречается более чем у 10% сортиментов.

Распространенность развитого ложного ядра, как основного сортообразующего порока березовой древесины, носит локальный характер. Качественное состояние ложного ядра различно. Преобладает здоровое ложное ядро (58% всех сортиментов с ложным ядром), хотя участие «сомнительного» (деградированного) ядра значительно ниже (около 20% сортиментов).

Влияние пороков фанерных сортиментов на объемный выход шпона. Пороки формы ствола в значительной степени влияют на объемный выход шпона при лущении [24].

Влияния сбег. Сильная сбежистость сортиментов приводит к некоторому уменьшению (на 1...3%) полноформатного и соответствующему

увеличению кускового шпона. Данные, характеризующие изменение объемного выхода, приведены в таблице 2.10.

Влияние кривизны. Общий выход шпона на каждый процент увеличения кривизны уменьшается на 2...6%, в том числе высших сортов — на 1...2% при увеличении выхода кускового шпона на 2...3% (см. табл. 2.10). Зависимость количественного выхода шпона от кривизны сортимента того или иного диаметра и сорта аналитически выражается следующими уравнениями [68; 71]:

Т а б л и ц а 2.10 — Выход шпона из березовых сортиментов I сорта диаметром 24...26 см, различающихся по сбежистости

Выход шпона, %	Сбежистость, %	
	2...4	10...15
Всего	62,5	61,0
В том числе: высших сортов	33,9	22,7
кусков	5,8	8,6

$$V = 60,35 - 6,85K \text{ (для } d = 16...20 \text{ см);}$$

$$V = 59,05 - 4,15K \text{ (для } d = 20...24 \text{ см);}$$

$$V = 59,95 - 2,95K \text{ (для } d = 24...28 \text{ см);}$$

$$V = 65,65 - 3,05K \text{ (для } d = 28...32 \text{ см);}$$

$$V = 60,50 - 4,25K \text{ (для } d \text{ — среднего).}$$

Данные уравнения имеют коэффициенты, определяемые на основе экспериментальных данных. Они предназначены для укрупненного расчета и не отражают влияние других видов пороков.

Влияние сучков. По степени увеличения отрицательного воздействия на количественный и сортовой выход шпона, сучки можно расположить в такой последовательности: заросшие с тупоугольными бровками, заросшие с разными бровками, незаросшие здоровые, гнилые и табачные. Разница в количественном выходе шпона от наличия сучков, расположенных на противоположных краях этого перечня, составляет 7...13%, при этом выход шпона высших сортов от сучков с наиболее сильным отрицательным влиянием снижается на 5...6%.

2.4.3 Ложное ядро в березовом фанерном сырье и влияние его на выход шпона

Ложное ядро в той или иной степени его развития встречается примерно у 50% поставляемого березового сырья, в том числе различают сортименты со здоровым (26%), сомнительным (18%) и гнилым ложным (6%) ядром. Имеется четко выраженная связь между состоянием ложного ядра и шириной свободной зоны. При ширине свободной зоны менее 5 см — удельный вес сортиментов со здоровым ложным ядром равен 26, сомнительным — 36 и гнилым — 38%; при ширине свободной зоны 7...9 см со здоровым ложным ядром равен 55, сомнительным — 34 и гнилым — 11%. В составе сырья, пораженного ложным ядром с шириной свободной зоны до 2 см около 6% сортиментов.

В результате исследования влияния ложного ядра на количественный и сортовой выход шпона установлено, что каждый сантиметр уменьшения ширины свободной от ложного ядра зоны снижает выход шпона на 1...2%. Сортименты с ложным ядром деградированного состояния дают обычно на 2...8% меньше шпона, чем равноценные по другим показателям сортименты со здоровым ложным ядром. В тех случаях, когда количественный выход шпона из сортиментов со здоровым и сомнительным (деградированным) ложным ядром примерно одинаков, различие состояния древесины сказывается на сортности получаемого шпона, снижающейся по мере ухудшения состояния ложного ядра.

Уменьшается выход делового шпона из сортиментов с ложным ядром за счет увеличения количества брака полноформатного и кускового шпона и за счет увеличения диаметра карандаша от потери прочности древесины. Наличие гнили в ложном ядре в пределах допустимых по ГОСТ 9462 норм обуславливает еще большее снижение выхода шпона по сравнению с выходом из сортиментов со здоровым ложным ядром.

Анализ расхода березового сырья на 1 м фанеры (с учетом фактического расхода на 1 м³ шпона и утвержденных нормативов расхода сырья по другим операциям) показал, что расход сырья увеличивается по мере уменьшения ширины свободной от ложного ядра зоны, ухудшения состояния ядра, увеличения количества и размеров других пороков, сопутствующих ложному ядру [72].

При уменьшении ширины свободной от ложного ядра зоны с 5...7 до 2 см и менее расход сырья увеличивается до 40...70% (III сорт, группа диаметров 20...24 см). При переходе от здорового к деградированному и от деградированного к гнилоственному состоянию ложного ядра расход сырья увеличивается до 50% (III сорт, группа диаметров 24 см, ширина свободной зоны 2...5 см).

В лесоматериалах (фанерном сырье) I сорта допускается здоровое ложное ядро с обязательной свободной от ложного ядра зоной не менее 7 см. В лесоматериалах (фанерном сырье) II сорта допускается здоровое ложное ядро при минимальной ширине свободной от ложного ядра зоны не менее 5 см, деградированное ложное ядро при минимальной ширине свободной от ложного ядра зоны не менее 7 см. В лесоматериалах III сорта допускается здоровое и деградированное ложное ядро без ограничения его размеров, ложное ядро гнилостного характера допускается при диаметре гнили не более 6 см. В лесоматериалах III сорта не допускаются одновременно ложное ядро и табачные сучки в пределах допуска их размеров по ГОСТ 9462.

Гниль ложного ядра березы в фанерном сырье и влияние ее на выход продукции. Встречаемость фанерного сырья с гнилью ложного ядра березы очень неравномерна. Степень поражения деревьев этим видом порока древесины различается, в зависимости от региона.

Количество сортиментов, пораженных внутренней гнилью, возрастает по мере увеличения диаметра сортиментов и уменьшения ширины свободной от ложного ядра (безъядровой) зоны. Так, в диапазоне диаметров 18...30 см общее количество их с гнилым ложным ядром увеличивается с 10,2 до 18,4%. С увеличением безъядровой зоны от 0 до 7 см удельный вес сортиментов с гнилым ложным ядром уменьшается с 33,2 до 8,2%.

Для сортиментов, пораженных внутренней гнилью, выход делового шпона незначителен. Количественный выход шпона (табл. 2.11), в том числе и шпона высших сортов, из сырья с внутренней гнилью в пределах допуска ее по ГОСТ 9462-71 в 1,5—2 раза меньше, чем из сырья I сорта [72].

В этом случае уменьшается количественный и ухудшается качественный выход шпона в связи с недолущиванием из-за гнили (до требуемого размера по диаметру) карандашей и выбраковкой гнилого шпона, полученного из зоны гнилого ложного ядра. В ряде случаев

Т а б л и ц а 2.11 — Влияние внутренней гнили на выход шпона

Наименование показателей	Выход шпона для сортиментов, %; диаметром, см		
	18,1...22,0	22,1...26,0	26,1...30,0
Полноформатного	50/19,3	54,7/36,4	51,3/27,2
Кускового	6/4,7	4,4/4,9	7,2/2,3
Итого	56/24	59,1/41,3	58,5/29,5
В том числе шпона сортов, %			
А-В	42/42,9	39,4/14,1	27,2/14,1
ВВ	22,1/10,1	19,6/11,1	15,3/6,5
С, I, II, III	35,9/47	41/74,8	57,5/79,4
<i>Примечание.</i> Значения в числителе — для I сорта (без внутренней гнили), в знаменателе — для III сорта (с внутренней гнилью до 10 см)			

при значительной (иногда полной) отбраковке шпона из зоны гнилого ложного ядра он не уступает по качеству шпону, полученному из сырья I сорта. Но при этом, как правило, уменьшается общий выход делового шпона. Выход шпона зависит от размеров пораженной части сортимента внутренней гнилью.

Исходя из результатов экспериментальных исследований следует, что с увеличением диаметра внутренней гнили на $\frac{1}{10}$ толщины соответствующего торца сортимента количественный выход шпона уменьшается в среднем на 2%. Общий выход шпона из сортиментов с внутренней концентрической твердой гнилью размером 6...10 см на 2...4% меньше, чем из сортиментов с диаметром гнили до 6 см.

Фактический расход березового сырья (с внутренней гнилью диаметром до 10 см) на 1 м сырого шпона (в зависимости от диаметра сортимента) 2,4...4,2 м³, т. е. в 1,5...2,5 раза больше, чем из сырья I сорта без внутренней гнили. Расход сырья на 1 м³ фанеры (приведенной к марке ФК, трехслойной, с учетом фактического расхода его на 1 м сырого шпона и утвержденных нормативов расхода по другим операциям) 3,3...5,6 м³. Расход сырья I сорта на 1 м фанеры 2,3...2,4 м³.

Расход сырья на 1 м фанеры из сортиментов с внутренней гнилью, выходящей на один торец (сортименты поражены гнилью не на всю их длину), около 2,9 м³, на оба торца (сортимент поражен гнилью на

всю длину) составляет до $6,8 \text{ м}^3$. Расход сырья на 1 м^3 фанеры с внутренней гнилью размером до $\frac{1}{6}$ диаметра сортимента с выходом ее (гнили) на один торец составляет $2,7 \text{ м}^3$, при размере гнили до $\frac{1}{3}$ диаметра сортимента — $3,2 \text{ м}^3$.

Выход высокосортной фанеры и сорта *ВВ* уменьшается с увеличением размеров гнили как по диаметру, так и по длине сортимента. Однако в ряде случаев, в связи со значительной (иногда полной) отбраковкой гнилого шпона, полученного из зоны с гнилым ложным ядром сортимента, этой зависимости может не быть. При этом, как правило, расход сырья увеличивается.

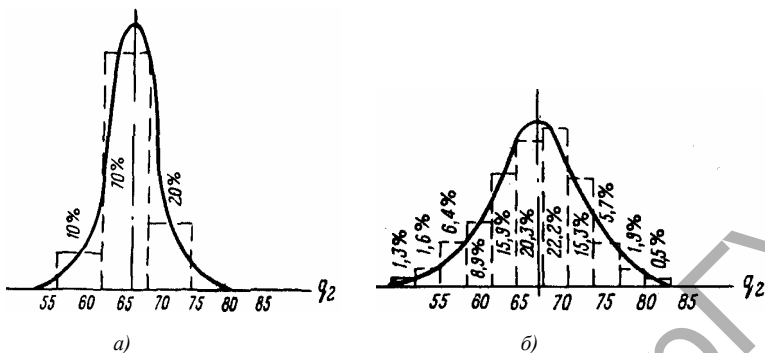
Результаты анализа экспериментальных работ позволяют определять дальнейшие направления и пути совершенствования технических требований к лесоматериалам березы, предназначенным для использования их в фанерной промышленности.

Нормы допуска внутренней гнили в березовых фанерных сортиментах по ГОСТ 9462 должны быть ужесточены. Внутренняя гниль в фанерном сырье I и II сортов не допускается. Максимальный диаметр внутренней гнили в фанерных сортиментах III сорта не должен превышать 6 см, при этом второй торец сортиментов должен быть без признаков загнивания [72; 73]. Такие выводы подтверждаются тем, что на сортаментах, кроме внутренней гнили, нередко встречаются и другие сортообразующие пороки (табачные сучки, кривизна, трещины), способствующие большему увеличению расхода сырья, и тем, что не все фанерное сырье лущится, так как при гидротермической обработке снижается твердость (прочность) гнилой части торца и не обеспечивается требуемый зажим сортиментов при лущении.

2.4.4 Геометрические параметры и пороки фанерного сырья

Как известно, форма ствола дерева данной породы достаточно однозначно определяется тремя показателями: диаметром ствола на расстоянии $\sim 1,3$ м от комля, длиной хлыста и, так называемым, коэффициентом формы (рис. 2.11).

Коэффициент формы q_2 варьирует для данной породы в сравнительно небольших пределах.



a — сосна; *б* — береза

Рисунок 2.11 — Кривые вероятностного распределения коэффициента формы для стволов деревьев

На рисунке приведены процентные распределения вероятностей встречающихся коэффициентов формы q_2 для двух пород: сосны (рис. 2.11, *a*), березы (рис. 2.11, *б*) и нормального закона распределения вероятностей (кривые Гаусса).

Как видно из этих кривых (рис. 2.12; 2.13), с вероятностью порядка 0,8...0,9 коэффициенты формы q_2 для сосны лежат в пределах 0,58...0,72; для ели — в пределах 0,6...0,8; для березы — в пределах 0,57...0,75.

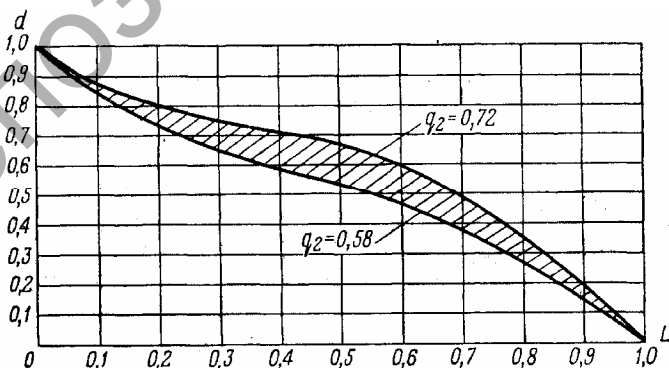


Рисунок 2.12 — Кривые сбегов сосны

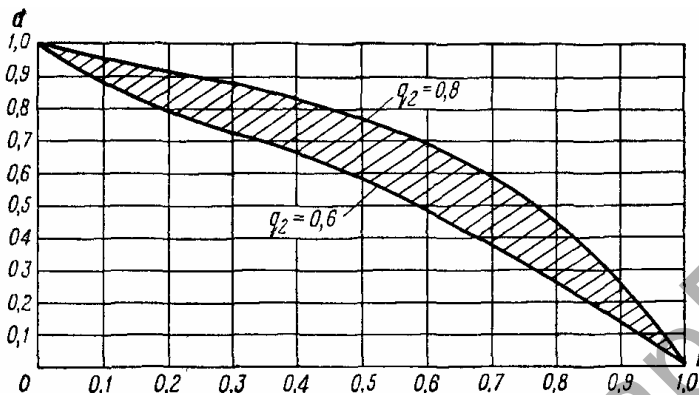


Рисунок 2.13 — Кривые сбегов ели

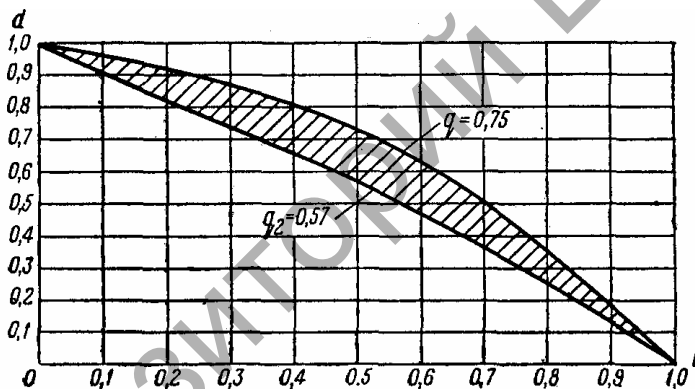


Рисунок 2.14 — Кривые сбегов березы

На рисунках приведены кривые сбегов (формы образующих стволов) сосны, ели и березы при крайних значениях q_2 . На этих кривых по оси абсцисс отложены доли длины хлыста от комля, а по оси ординат доли диаметра d_m , при этом $d_m = 1$ принято на расстоянии 1 м от комля и комлевой отрезок не учитывается.

Очевидно, что формы стволов данной породы лежат в пределах заштрихованных участков при варьировании в указанных выше пределах.

Таким образом, применение специальных преобразователей позволит получить достаточно полную информацию о размерных параметрах данного хлыста, определяющих программу их раскряжевки.

Рассмотрим теперь основные сортообразующие пороки и законы их распределения по длине хлыста.

Таблицу распространенности пороков древесины сосны, пихты и лиственницы в условиях Сибири в процентах от здоровых хлыстов приводит В. С. Петровский [84] (табл. 2.12).

Таким образом, основными сортообразующими пороками следует считать: сучья, встречающиеся у всех стволов, и напенные гнили, встречающиеся почти у трети всех стволов в эксплуатационной спелости. Очевидно, что программирующие устройства должны, в первую очередь, учитывать эти два основных порока.

Распространение сучьев по длине ствола подчиняется определенной закономерности. Как правило, в нижней части ствола сучьев нет, и они встречаются только в вершинной части. Размер сучьев связан с величиной сбежистости хлыста S , т. е. с уменьшением диаметра ствола в сантиметрах на 1 м его длины.

Так, И. П. Крашенинников [72; 84] приводит следующую зависимость между диаметром сучьев d_c , мм, и величиной сбега ствола S , см / м, для сосны: $S_c = 80d_c - 30$.

Т а б л и ц а 2.12 — Распространенность пороков древесины

Наименование порока древесины	Порода		
	сосна	пихта	лиственница
Сучья табачные	0,7	0,4	0,7
Напенные и напенно-стволовые гнили	12,6	29,0	13,0
Стволовые гнили более $\% d_m$	0,5	0,6	1,1
Кривизна более 1 см на 1 м	3,0	2,2	2,3
Косослой более $\% d$ на 1 м	10,1	7,6	11,5
Вздутия более 40 мм	8,9	2,4	26,0
Двухвершинность	0,7	0,7	0,8
Ройка более 0,3	0,6	0,6	1,0
Трещины разные более 0,2 d	5,6	4,3	3,0
Сухобокость более 0,2 d	3,1	0,6	3,4

Таким образом, зону распределения сучьев и их размер достаточно точно определяет геометрические данные хлыста и его порода.

Напенные гнили являются случайными, и их можно определить датчиками, способными различать гнилую древесину от здоровой.

В основу создания таких датчиков могут быть положены различные принципы, например, различие в поглощающей способности излучений и рентгеновских лучей здоровой и пораженной гнилью древесины, изменение диэлектрической постоянной древесины при ее поражении гнилью и т. д. Однако все эти способы трудно реализуемы в условиях промышленных установок. Кроме того, как показали исследования, использование радиационных методов дефектоскопии древесины затрудняется тем, что поглощающая способность древесины и гнили в значительной степени зависит от влажности, которая может быть различна в здоровой и гнилой частях ствола. Это приводит к тому, что поглощающие способности здоровой и гнилой частей ствола могут оказаться соизмеримыми и обнаружить гниль при помощи гамма- или рентгеновского излучения в принципе становится невозможным (табл. 2.13).

Обнаружение и определение зоны распространения напенной гнили облегчается тем, что она выходит в комлевой торец хлыста, а зона ее распространения связана корреляционной зависимостью с ее диаметром в комлевом срезе и диаметром самого хлыста.

Так, А. В. Вагин [72] приводит зависимость между длиной пораженной напенной гнилью ствола ели в метрах и относительным диаметром гнили на торце хлыста.

Т а б л и ц а 2.13 — Встречаемость внутренней гнили в стволовой части деревьев

Возраст ельников, лет	Размер гнили в долях диаметра торца				
	менее $\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10} \dots \frac{1}{5}$	$\frac{1}{5} \dots \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}$	более $\frac{1}{3}$
60	0,25	0,250...0,600	0,60...0,90	0,90...1,10	1,10...1,60
80	0,25	0,250...0,700	0,70...1,00	1,00...1,30	1,30...2,00
100	0,30	0,300...0,800	0,80...1,10	1,10...1,40	1,40...2,20
120	0,40	0,400...0,900	0,90...1,20	1,20...1,50	1,50...2,50
140	0,60	0,600...1,00	1,00...1,30	1,30...1,70	1,70...3,00
160	0,80	0,800...1,20	1,20...1,50	1,50...1,90	1,90...3,50

На основании своих исследований, проведенных в лесах Сибири, В. С. Петровский [84], приводит для сосны, пихты и лиственницы следующую формулу, связывающую диаметр напенной гнили, м, с длиной ее распространения l_r , м, :

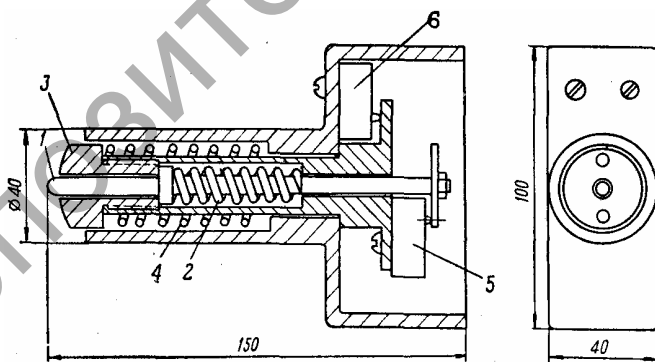
$$l_r = 40d_r + 10d_r. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива при $d_r < 0,18$ м и $l_r < 3,5$ м.

Таким образом, пользуясь данными и зависимостями, при знании диаметра гнили в торце хлыста, имеется возможность определить протяженность гнили и тем самым определить место расположения первого реза, отрезающего фаутную часть хлыста.

Учитывая изложенное, для автоматического определения величины гнили достаточно иметь датчики, которые могли бы различать здоровую древесину от пораженной гнилью в торце хлыста (рис. 2.15).

Наиболее простым и достаточно надежным способом определения зоны распространения напенной гнили в комлевом срезе хлыста следует считать применение приборов, определяющих механические свойства здоровой и пораженной гнилью древесины,



1 — внутренний пуансон; 2 — пружина; 3 — наружный пуансон;
4 — пружина; 5, 6 — конечный выпрямитель

Рисунок 2.15 — Схема датчика механического дефектомера напенных гнилей

например, ее твердость, определяемая путем вдавливания в торец древесины пуансона определенной формы под некоторым усилием P . При этом по глубине вдавливания a можно определить степень поражения древесины гнилью и, определив величину максимального усилия, при которой степень поражения допустима, определять недопустимые напеченные гнили.

На рисунке 2.15 приведена одна из конструкций такого прибора (датчика). Этот датчик состоит из внутреннего пуансона 1, вдавливаемого в торец хлыста с усилием, определяемым величиной предварительного сжатия пружины 2 и внешнего пуансона 3, прижимаемого к торцу хлыста с усилием, определяемым предварительным сжатием пружины 4.

Обозначим усилие, которое нужно приложить к внутреннему пуансону для его внедрения в пораженную гнилью древесину через $P_Г$, а усилие для внедрения в здоровую древесину через $P_З$; при этом $P_З > P_Г$.

Обозначим также величину предварительного сжатия пружины 2 через $P_н$ и величину предварительного сжатия пружины 4 через $P_в$. Тогда, при условии $P_Г < P_в < P_З$ и прижатии датчика к здоровой древесине, внутренний пуансон сожмет пружину 2 и переместится вправо относительно наружного пуансона. Если же прижать датчик к древесине, пораженной гнилью, то сместится только внешний пуансон, внутренний же по отношению к наружному не сместится.

Смещение внутреннего пуансона относительно наружного регистрируется конечным выключателем 5, а смещение наружного пуансона относительно корпуса — конечным выключателем 6.

Обозначая срабатывание выключателя 5 через x_1 , а срабатывание выключателя 6 через x_2 , можно составить таблицу их состояний (табл. 2.14).

Т а б л и ц а 2.14 — Состояние выключателя при различной плотности древесины

Состояние древесины	Состояние выключателя	
	x_1	x_2
Здоровая	1	1
Пораженная гнилью	0	1

Таким образом, по состоянию конечных выключателей x_1 и x_2 можно определить, прижат ли датчик к здоровой части торца, к пораженной гнилью или вообще не прижат к торцу хлыста. Если составить батарею из таких датчиков и прижать ее к торцу исследуемого хлыста (рис. 2.16), то можно с точностью до a (шага расположения датчиков) определить как диаметр гнили, так и диаметр комлевого среза хлыста. Очевидно, что при помощи такой системы датчиков можно определить основной вид фауны, определяющий программу раскряжа хлыста. Задача создания датчиков, определяющих породу древесины, частично решена. Трудность решения этой задачи обуславливается тем, что древесина различных пород имеет соизмеримые значения плотности древесины, цвет коры и т. д., не позволяющие создать приборы, четко разграничивающие различные породы друг от друга. Следовательно, параметр «порода» должен вводиться в блок стандартных программ оператором.

Длины сортиментов, которые должны выпиливаться раскряжевочным агрегатом, могут изменяться в широких пределах. Для некоторых из них регламентируемые длины являются строго обязательными, так как они определяются или параметрами оборудования, на котором происходит их дальнейшая обработка, или конструкционной длиной.

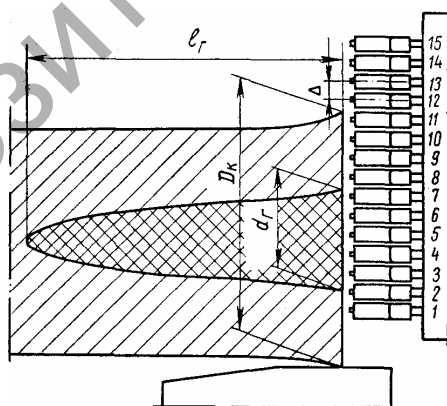


Рисунок 2.16 — Дефектометр напеченных гнилей, определяющий диаметр хлыста и гнили

Для некоторых из них регламентируемые длины являются строго обязательными, так как они определяются или параметрами оборудования, на котором происходит их дальнейшая обработка, или конструкционной длиной. К таким сортаментам относятся шпальные тюльки, фанерные сортаменты и кряжи, спичечные сортаменты, лыжные кряжи и т. д. Большая же часть сортаментов может иметь любые длины в пределах регламентируемых ГОСТ.

2.4.5 Визуальная оценка ложного ядра фанерных сортаментов

Образование ложного ядра у березы, согласно новейшим воззрениям [72], связано с процессом отмирания сучьев, раневыми воздействиями на стволы деревьев. Развитие ложного ядра с возрастом берез усиливается. Дисперсионный анализ многофакторных комплексов, в которых наряду с возрастом учтены и другие факторы возможного влияния на процесс образования ложного ядра, показал, что эта концепция в своей основе верна. Однако она не исчерпывает всего многообразия факторов, регулирующих этот процесс. На долю возраста (в диапазоне березы 40...100 лет) падает 34% суммарного влияния всех факторов. Среди других индивидуальных особенностей берез большая роль принадлежит происхождению деревьев (50% суммарного влияния факторов при незначительном варьировании и 19...29% влияния при более значительном варьировании возраста), а также генотипу березы, характеризуемому видом ее коры (24% суммарного влияния). Влияние класса роста дерева (I—III), бонитета насаждения (I—III) менее значительно — 2...5% [72].

Количество деревьев, пораженных ложным ядром, с увеличением возраста увеличивается. В насаждениях 40...60-летнего возраста оно составляет 3,4...25,2%, а в насаждениях 80...100-летнего возраста — 31,4...73,8%. Количество деревьев с ложным ядром среди порослевых берез в 2—3 раза больше, чем среди семенных (9,7...73,8% против 0,7...38,6%). Белокорые березы сильнее поражены ложным ядром, чем березы с потрескавшейся грубой корой (6,2...26% против 1,9...10,9%). Отчетливого различия в распространении ложного ядра у деревьев I и III классов роста не наблюдается. Встречаются случаи большого распространения ложного ядра у деревьев

I класса роста. Ухудшение условий произрастания в I—III классах бонитета практически не приводит к заметному увеличению количества берез с ложным ядром (0,7...21,4% в I и 4...23,8% в III классе бонитета).

Степень развития ложного ядра у берез, близких между собой по индивидуальным характеристикам (происхождению, возрасту, диаметру), значительно изменяется в связи с интенсивностью роста деревьев в начальный период жизни. Она обычно меньше у деревьев с небольшим приростом в этот период. В частности, у семенных деревьев I класса роста диаметром 27...28 см. Средний диаметр ложного ядра, в связи с величиной среднего прироста берез в первый 20-летний период жизни, колеблется от 6,8 см (при среднем приросте 1,2 мм) до 9,4 см (при среднем приросте 2,4 мм).

Значение ложного ядра как порока лесоматериалов, предназначенных для фанерного производства, зависит от его состояния. Ложно-ядровая древесина в своей деградации проходит ряд качественных состояний — от здорового в начальной, до гнилостного (или деградированного вследствие физико-химических изменений) в конечной стадиях. Промежуточное между этими стадиями состояние характеризуется постепенными качественными изменениями древесины ложного ядра, сопровождающимися синением ее технических характеристик. Состояние древесины определяется и классифицируется по ГОСТ 2140 «Древесина. Пороки».

Исследования, выполненные в Свердловской области (Тавдини ФК) и в Беларуси (Бобруйский ФДК), показали, что фактор встречаемости ложного ядра березы, произрастающей в этих районах, почти одинаковый. Ложное ядро в сырье, заготавливаемом в Свердловской области, характеризуется большим разрастанием, преобладанием темно-бурых (мозаичных пятнистых) цветовых гамм, распространением неправильно-округлой формы, что является признаками «сомнительного» состояния ложного ядра. Ложное ядро березы в Беларуси отличается меньшим разрастанием, розовыми однотонными, реже мозаичными цветовыми гаммами, более правильной округлой формой. Дисперсионный анализ многофакторных комплексов позволил выявить, что особенности характеристик ложного ядра березы из Свердловской области, по сравнению с березой из Беларуси, обусловлены большим возрастом насаждений (IX—XII классы возраста против VI—VII), худшими условиями их произрастания (III—IV классы бонитета против I—II), особенностями

внутреннего строения и развития древостоев (большим участием деревьев порослевого происхождения, выборочными рубками в прошлом и др.). Комплекс этих и некоторых других факторов обусловил различия в процессах образования ложного ядра.

В характере развития образования ложного ядра можно схематически выделить формы: нормальную (медленную и ускоренную) и патологическую [72; 97].

Нормальное течение процесса образования ложного ядра у березы связано с естественным очищением стволов от сучьев. Состояние древесины ложного ядра и скорость его трансформации в этом случае зависит от диаметра, вида и скорости зарастания сучка, возраста дерева.

Условия очищения стволов от небольших (до 2...3 см) сучков, характерные для обширных насаждений, в связи с быстрым зарастанием отмерших сучьев (обычно за 4...8 лет) не благоприятствует ускоренному образованию развитой зоны ложного ядра. Быстрое зарастание сучка уменьшает также возможность проникновения в него гнили (среди сучков диаметром до 2 см гнилых менее 25%). В условиях обширных насаждений формируется обычно ограниченное по размерам ложное ядро, слабо пораженное гниlostными процессами.

Оно имеет правильную округлую форму, преимущественно однотонные розовые (вначале), впоследствии — бурые цветковые оттенки от напенной корневой гнили. В этом случае ядро обычно характеризуется гниlostным характером, сильным и ускоренным снижением своих прочностных характеристик (на 40...60%), (табл. 2.15). Состояние ядра связано с характером и размерами

Т а б л и ц а 2.15 — Скорость зарастания отмерших сучков разного диаметра на стволах березы

Диаметр сучка, см	Скорость прироста ствола по диаметру, годы		
	медленная	средняя	интенсивная
1	5,4	4,4	—
2	8,3	5,4	5,0
3	11,4	7,1	6,4
4	14,5	9,8	8,0
5	—	13,0	10,5
6	—	17,0	11,4

поражений и скоростью их застарения. Характеристики состояния древесины и его трансформация в этом случае во многом аналогичны характеристикам и трансформации, типичным для образования ложного ядра в процессе отмирания крупных сучьев.

Отсюда следует, что только в случае нормального ядрообразования, связанного с очищением ствола от небольших сучков, можно рассчитывать на длительное сохранение древесины ложного ядра в здоровом состоянии [72].

Проблема ложного ядра березы как важного сортообразующего порока древесины, используемой в фанерном производстве, в связи с неуклонным возрастанием в поставках древесины, пораженной ложным ядром, в последнее время приобрела особую остроту, которая усугублялась недостаточной обоснованностью норм допуска ложного ядра (ГОСТ 9462 «Лесоматериалы круглые лиственных пород») и недифференцированностью его классификационных признаков (ГОСТ 2140 «Древесина. Пороки»).

Не дифференцируемость классификационных признаков состояния ложного ядра, отсутствие внешних критериев оценки качества древесины в сорimente затрудняют распознавание действительного состояния ложного ядра, из-за чего в ряде случаев в оборот вовлекается некондиционная березовая древесина, использование которой в фанерном производстве приносит убытки.

Критерии состояния ложного ядра по сопутствующим порокам древесины. Наиболее распространенным, сопутствующим ложному ядру, пороком являются сучки. Анализ состояния древесины ложного ядра, окружающей сучки, и характеристик сучков на шпоне подтвердил отмеченные выше особенности процесса образования ложного ядра в растущем дереве и позволил выявить количественные характеристики связи размера и вида сучков с интенсивностью деградации и загнивания ложноядровой древесины. Диаметр сучка влияет как на частоту появления, так и на размер гнилых участков в зоне древесины, непосредственно примыкающей к сучку. Между размером и степенью поражения гнилью, окружающей и ложноядровой древесиной существует довольно тесная реляционная связь. С увеличением диаметра количество пораженных гнилью участков и их размер возрастают от 1,2...61,3% при диаметре 10...20 мм до 43,7...86,7% при диаметре от 40 мм. Размеры зоны поражения соответственно колеблются от 2,6 до 4...4,2 см. В ряде случаев загнивает и периферийная.

Таким образом, диаметр сучка и его вид — четкий диагностический признак состояния древесины ложного ядра в березовых сортиментах. Крупные сучки с теми или иными признаками загнивания с достаточной степенью определенности указывают на наличие гнилых участков в зоне непосредственного их окружения.

Критерии состояния ложного ядра по его виду на торце сортимента. Дисперсионный анализ показал, что к числу признаков ложного ядра, которые влияют на состояние древесины, относятся его размер, цветовая гамма (структура) и конфигурация, а также возраст дерева. Влияние факторов, характеризующих внешний вид ложного ядра, в суммарном влиянии всех факторов составляет 67...71%, из которых на долю размера падает 28...33%, цветовой гаммы — 18...24%, конфигурации — 8%, возраста — 17%.

В качестве критерия состояния древесины был применен процент отбракованного (из-за гнили и деградации древесины).

2.5 Применение высокоточных методов контроля и измерения пороков, учитываемых в производстве лущеного шпона

2.5.1 Ультразвуковые методы измерения толщины коры и пороков фанерных сортиментов

Точность любого ультразвукового измерения непосредственно соответствует скорости звука в измеряемом отделочном покрытии. Так как ультразвуковые приборы измеряют время прохождения ультразвукового импульса, они должны быть откалиброваны на «скорость звука» в этом индивидуальном материале [91; 94].

С практической точки зрения, значения скорости звука материалов покрытий, применяемых в деревообрабатывающей промышленности, сильно не отличаются, поэтому ультразвуковые толщиномеры покрытий, как правило, не требуют настройки заводских установок калибровки.

Фактором, влияющим на точность и воспроизводимость ультразвукового измерения, является состояние границ этих покрытий с подложкой из древесины. На рисунке 2.17 показан пример измерения толщины покрытий с помощью ультразвукового датчика.

Несмотря на большое количество слоев материала, с помощью высокоточных приборов можно определить их толщину с точностью до 0,001 мм. Для деревообрабатывающей промышленности такая точность значительно превышает технологические требования [102; 103; 106; 107].

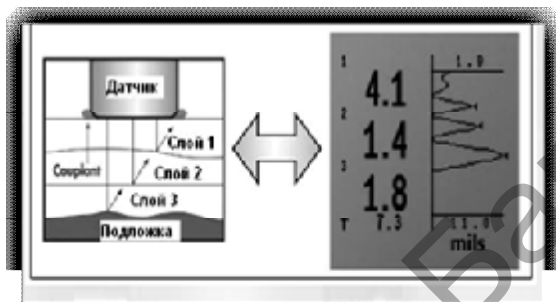
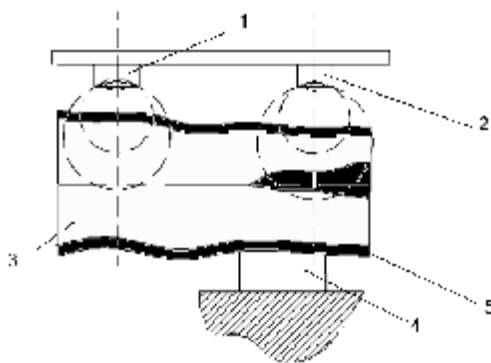


Рисунок 2.17 — Схема измерения с помощью ультразвукового датчика

Однако величина потерь точности пропорционально возрастает в зависимости от расстояния до измеряемого сортамента. При измерении толщины коры в статическом и динамическом режиме целесообразно использовать акустические датчики направленного действия, которые рассчитаны на расстояние срабатывания 200...300 мм. Такие преобразователи позволяют контролировать толщину коры сортамента и при необходимости определять ее точное значение в нескольких местах (рис. 2.18).

При использовании подвижной платформы с одним или несколькими преобразователями создается возможность для измерения в разных плоскостях. Учитывая толщину коры для каждого сортамента, можно определить потери древесины при его лущении. При использовании базирующих устройств с повышенной точностью позиционирования ресурсосберегающие возможности оборудования значительно возрастают. К примеру, при обработке одного сортамента диаметром 22 см потери полезной древесины, вызванные неточностью базирования на 1 мм (при учете только наружных координат сортамента), могут достигать 2...3% от объема всей полезной древесины [48—50].



1, 2 — ультразвуковые преобразователи; 3 — сортимент;
4 — опора; 5 — кора

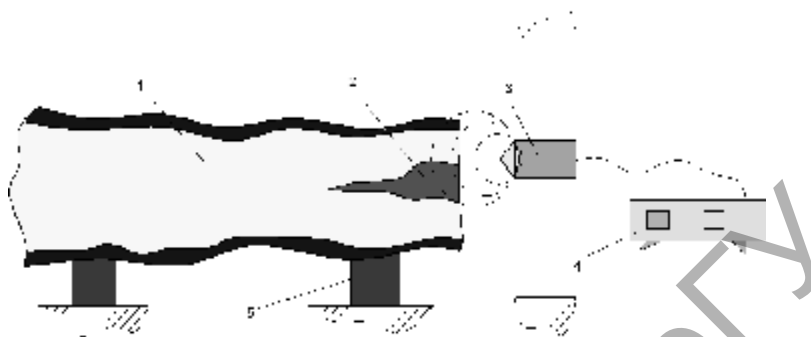
Рисунок 2.18 — Схема измерения с помощью
ультразвукового датчика

Еще одна важная задача может быть решена с помощью ультразвука — контроль и измерение параметров гнилостных поражений древесины. Такой вид контроля может осуществляться во время предварительной сортировки фанерных сортиментов.

После поперечного раскроя кряжей, с учетом их геометрической формы, возникает необходимость в определении координат центров на торцовых частях сортимента. Одновременно может осуществляться контроль пороков строения древесины (рис. 2.19).

Поступательное движение одномерного ультразвукового датчика вдоль торцовой части ствола позволит зафиксировать поражения ствола и оценить их значимость. При наличии стволовой напенной гнили показания чувствительного прибора 4, подключенного к системе управления, укажут форму и глубину поражения ствола, а это даст возможность проанализировать дальнейшую переработку сортимента. Отбракованные сортименты в этом случае поступают на промежуточный конвейер, который транспортирует их к месту дальнейшей переработки.

Внедрение методов контроля и измерения на участке предварительной сортировки сортиментов позволят уменьшить расход энергии на переработку некачественного сырья. Кроме этого, при



1 — зона полезной древесины сортимента; 2 — ядровое поражение ствола;
3 — ультразвуковой датчик; 4 — измерительный прибор; 5 — опорные элементы

Рисунок 2.19 — Контроль размеров и формы ядровой гнили

использовании чувствительных преобразователей создается возможность перенаправления потока некачественных сортиментов в цеха для производства спичек, пиломатериалов или других видов продукции.

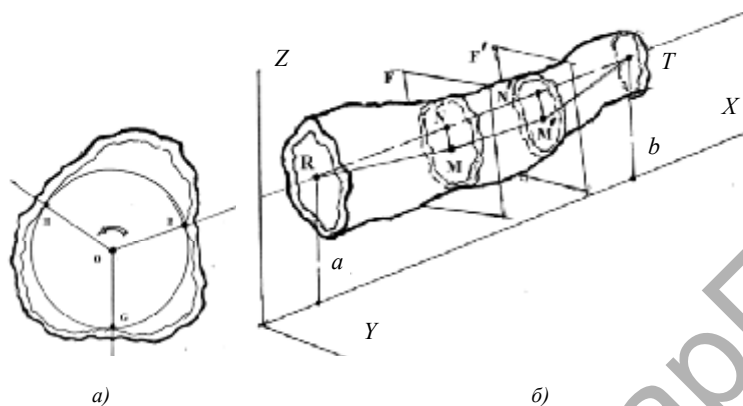
2.5.2 Метод измерения кривизны фанерных сортиментов на основе анализа полезной зоны его сечений

Точное измерение кривизны сортиментов, в соответствии с разработанным методом [48—50], выполняется на основе анализа полезной зоны обработки в различных сечениях (рис. 2.20).

Полезная зона обработки формируется при условном вращении многолучевого базиса (для упрощения на рисунке 2.20 показан трехлучевой базис). Во время вращения точка $O(x_0, y_0)$ перемещается на заданном интервале. Конечным условием является равенство отсекаемых «внутренней поверхностью» коры отрезков:

$$OH = OB = OG = A_j B_j = const.$$

Результат достигается при помощи оптимизирующего поиска с заданными параметрами. Координаты центров сечений на различных участках сортимента составляют массив данных, необходимых для анализа числовых значений кривизны. Расстояние этих точек



a — схема формирования полезной зоны обработки; *б* — геометрическая интерпретация алгоритма измерения кривизны сортимента

Рисунок 2.20 — Метод точного измерения кривизны круглых лесоматериалов

до продольной оси сортимента, а также направляющие векторы отрезков характеризуют числовые значения и вид кривизны. Конечное значение кривизны соответствует максимальному значению расстояния:

$$K = \max(NM, N'M', \dots, N_iM_j).$$

Среди существующих методов измерения кривизны наиболее близкий по функциональному назначению светотеневой профильный метод (SU918781). Сравнительный анализ методов приведен на схеме (рис. 2.21).

Исходя из описания, метод, основанный на проекционном отображении поверхности (SU918781), служит для увеличения информативности при обмере сырья во время нахождения экстремумов функции, характеризующих криволинейную ось лесоматериала, и способствует повышению точности вычисления значений кривизны.

Разработанный метод, в отличие от вышеуказанного, предназначен для точного измерения кривизны на основе параметрической оптимизации и может быть использован для сортировки и оптимальной ориентации круглых лесоматериалов при обработке на специализированном оборудовании с ЧПУ (лушение, пиление, фрезерование).

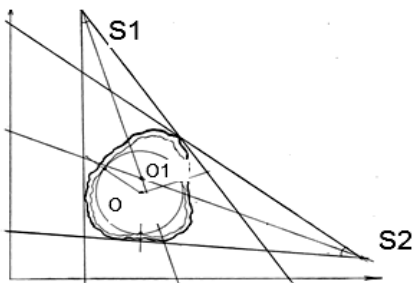


Рисунок 2.21 — Сравнительный анализ методов измерения кривизны

Координаты центра сечения, в соответствии с рисунком 2.21, будут различными при разных положениях источников света. Это приведет к возникновению значительной погрешности при вычислении числового значения кривизны.

Приведенные результаты сравнения подтверждают достаточно высокую точность разработанного метода. Для измерения кривизны предполагается

использовать стандартные сканирующие устройства на основе лазерных измерителей. Применение метода для сортировки круглых лесоматериалов позволит разработать качественные критерии приемки сырья, обеспечивающие повышение энергоэффективности производства.

РЕПОЗИТОРИЙ ИБРАН

Глава 3

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШПОНА

Координаты поверхности сортиментов могут быть измерены с различной степенью точности. В зависимости от применяемых технических средств и методов точность измерений может в значительной степени повлиять на характеристики параметрических моделей. Применение современных сенсорных устройств для оцифровывания поверхности сортиментов и кряжей позволит приблизить результаты моделирования процессов при лущении шпона к фактическим.

Эксплуатация измерительных систем на фанерных предприятиях происходит в сложных условиях: повышенная температура и влажность воздуха, вибрации и пыль. Все перечисленные факторы накладывают определенные ограничения при выборе преобразователей, и должны быть учтены при разработке новых устройств для числового измерения координат поверхности круглых лесоматериалов, обеспечивающих внедрение ресурсосберегающих технологий.

3.1 Сравнительный анализ сенсорных преобразователей размеров и линейных перемещений

Функциональные особенности различных видов оборудования требуют от производителей повышенной точности координат точек поверхности. Параметры действующего оборудования определяют выбор первичных преобразователей.

Для координатных систем обычно применяют аналоговые датчики расстояния. Такие преобразователи могут использовать различные принципы измерений: индуктивный, ультразвуковой или

оптический, однако все они имеют электрический выходной сигнал, величина которого пропорциональна расстоянию до измеряемого объекта. На рисунке 3.1 представлены основные типы аналоговых бесконтактных датчиков для измерения расстояний и их основные особенности [58; 125; 127].

	Индуктивные	Ультразвуковые	Оптические	
			Триангуляционные	Радарные
Расстояние	0 – 20 мм	10 – 10.000 мм	10 – 1.000 мм	10 – 500.000 мм
Разрешение	0,1 мкм	0,1 мм	1 мкм	0,5 мм
Точность	1 мкм	0,2 мм	2 мкм	2 мм
Линейность	0,4% – 5%	0,5%	0,05% - 1%	0,001%
Время	0,3 мс	20 мс	1 мс	1 мс

Рисунок 3.1 — Сенсорные преобразователи расстояния

Анализ характеристик различных датчиков, проведенный на основе официальных литературных источников, показывает значительные преимущества оптических датчиков. Существует множество различных способов измерения расстояния до предмета с помощью оптики: лазерные интерферометры, датчики с рассеянным отражением света и оптические датчики радарного типа. Каждый из видов датчиков имеет свои сильные и слабые стороны. Подавляющее большинство задач по измерению в промышленности приходится на диапазоны от долей микрон до нескольких десятков метров. При этом датчики должны работать с объектами далекими от идеальных: малого размера, имеющих различный цвет, сложную структуру поверхности и перемещающихся с высокой скоростью. Наибольшую эффективность в этой области получили «визуальные сенсоры». Термин «визуальные сенсоры» относится ко всем датчикам,

которые, подобно глазу человека, воспринимают, по крайней мере, двумерное изображение измеряемого объекта. Распределение яркости такого оптического изображения распознается и оценивается сенсором. Визуальное измерение, с учетом всех его отрицательных сторон, представляет собой последнюю альтернативу современным системам обработки изображений. Этот метод применяется в тех случаях, когда измеряемый объект виден плохо, и геометрические элементы можно исследовать только интуитивно. При условии, что глаз человека различает в визирном перекрестии до нескольких десятых миллиметра, использование этого метода позволяет достичь разрешения в несколько микронов, например, в сочетании со стократным оптическим увеличением.

С помощью описанных выше визуальных сенсоров измерения можно проводить только на двумерных плоскостях. Таким образом можно измерять лишь двумерные ($2D$) или ступенчатые ($2,5D$) объекты. Для того, чтобы выполнять трехмерные ($3D$) измерения с помощью оптических датчиков, необходима дополнительная операция измерения третьей координаты. Поскольку сенсоры, используемые с этой целью, определяют расстояние до поверхности измеряемой детали, они, как правило, называются датчиками расстояния.

3.1.1 Оптические датчики — современные высокоточные приборы для измерения координат поверхности

Лазерные датчики поточечного измерения. Лазерный датчик поточечного измерения функционирует следующим образом: пучок света, испускаемый лазером (как правило, это лазерный диод), проецируется на измеряемый объект. Пятно отраженного луча отображается на оптоэлектронном датчике. Позиция измеряемой точки определяется подходящим для этого способом. (Самые известные способы принадлежат к одной из двух категорий: это метод триангуляции и интерференционный метод). Триангуляционные датчики часто применяются в целях автоматизации технологии измерений согласно следующему принципу: лазерный пучок и ось воспроизводящего оптического оборудования датчика охватывают угол измерения в несколько десятков градусов. Таким образом лазерный

передатчик, измеряемая точка и датчик формируют треугольник, который затем используется для определения расстояния через тригонометрические отношения (или триангуляцию). Результат измерения сильно зависит от структуры и угла наклона поверхности, что выражается в относительно высоких погрешностях измерения. Вследствие этого данный метод подходит для применения только на менее точных координатно-измерительных машинах. Лучших результатов можно добиться с помощью лазерных датчиков, работающих по принципу Фуко. Этот принцип заключается в использовании угла апертуры воспроизводящего оптического оборудования датчика в качестве триангуляционного угла. Вместо лазерного пятна на объекте отображается лезвие ножа Фуко, расположенное на траектории пучка света. Оценка характеристик сигналов выполняется посредством дифференциального фотодиода.

Основные методы измерения и преобразования координат поверхности. Основную проблему представляет измерение сложных рельефных поверхностей. Для таких целей наиболее подходят лазерные датчики расстояния, работающие по принципу оптической триангуляции (рис. 3.2). Применение таких датчиков требует дополнительных устройств, которые обеспечивают их перемещение вдоль поверхности измеряемого объекта.

На рисунке 3.2 показан принцип измерения координат профильной поверхности с помощью оптического датчика расстояния. Генератор оптического излучения посылает через линзу луч, который отражается от объекта и фокусируется на линейке из фотодиодов,

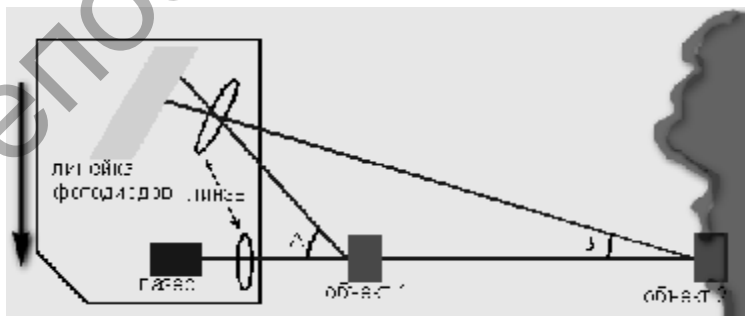


Рисунок 3.2 — Сканирование сложной рельефной поверхности

которая преобразует световой сигнал в электрический. Всякое изменение расстояния до объекта вызывает изменение угла отраженного луча и, следовательно, позиции, которую отраженный луч занимает на линейке фотодиодов. При движении датчика происходит постоянное изменение расстояния до объекта. Последовательность значений координат поступает на вход микроконтроллерной системы. Микроконтроллер обрабатывает сигнал от линейки фотодиодов и преобразует его в аналоговый электрический сигнал.

3.1.2 Применение ультразвуковых датчиков для измерения координат поверхности сортиментов

Общие принципы работы ультразвуковых датчиков. Ультразвук представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц среды и характеризуется рядом отличительных особенностей по сравнению с колебаниями слышимого диапазона. В ультразвуковом диапазоне частот сравнительно легко получить направленное излучение; ультразвуковые колебания хорошо поддаются фокусировке, в результате чего повышается интенсивность ультразвуковых колебаний в определенных зонах воздействия. При распространении в газах, жидкостях и твердых телах ультразвук порождает уникальные явления, многие из которых нашли практическое применение в различных областях науки и техники.

Прошло более ста лет с начала исследований в области применения ультразвуковых колебаний. Первые лабораторные работы по исследованию ультразвука были проведены великим русским ученым-физиком П. Н. Лебедевым в конце XIX в., а за прошедшие сто лет развитием и применением ультразвуковых технологий занимались многие видные ученые в различных странах [125; 127].

За это время в активе человечества появились десятки высокоэффективных ресурсосберегающих и экологически безопасных ультразвуковых технологий. К их числу относятся: технологии закалки, лужения и пайки металлов, предотвращения образования накипи на теплообменных поверхностях, сверления хрупких и особо твердых материалов, сушки термолабильных веществ, экстрагирования животного и растительного сырья, растворения, стерилизации жидких веществ, мелкодисперсного распыления лекарственных

препаратов, тяжелых топлив, получения эмульсий и сверхтонких суспензий, диспергирования красителей, сварки металлов и полимеров, мойки, очистки деталей без применения горючих и токсичных растворителей.

В последние годы ультразвук начинает играть все большую роль в промышленности и научных исследованиях. Успешно проведены теоретические и экспериментальные исследования в области ультразвуковой кавитации и акустических течений, позволившие разработать новые технологические процессы, протекающие при воздействии ультразвука в жидкой фазе. В настоящее время формируется новое направление химии — ультразвуковая химия, позволяющая ускорить многие химико-технологические процессы и получить новые вещества. Научные исследования способствовали зарождению нового раздела акустики — молекулярной акустики, изучающей молекулярное взаимодействие звуковых волн с веществом. Возникли новые области применения ультразвука: интроскопия, голография, квантовая акустика, ультразвуковая фазометрия, акустоэлектроника [102; 103].

Наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области ультразвука выполнено много практических работ. Разработаны универсальные и специальные ультразвуковые станки, установки, работающие под повышенным статическим давлением, ультразвуковые механизированные установки для очистки деталей, генераторы с повышенной частотой и новой системой охлаждения, преобразователи с равномерно распределенным полем. Созданы и внедрены в производство автоматические ультразвуковые установки, которые включаются в поточные линии, позволяющие значительно повысить производительность труда.

Развитие и применение ультразвуковых технологий открывает в настоящее время новые перспективы в создании новых веществ и материалов, в придании известным материалам и средам новых свойств (стерильность, наноразмерность и т. п.) и поэтому требует понимания явлений и процессов, происходящих под действием ультразвука, возможностей новых технологий и перспектив их применения.

Большинство разработок, исследований и представленных достижений основываются на работах, проведенных авторами в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического

института (филиала) Алтайского государственного технического университета имени И. И. Ползунова [89; 94].

Если в сплошной среде (газах, жидкостях или твердых телах) частицы среды окажутся выведенными из положения равновесия, то упругие силы, действующие на них со стороны других частиц, будут возвращать их в положение равновесия. При этом частицы будут совершать колебательное движение. Распространение упругих колебаний в сплошной среде представляет собой волнообразный процесс.

Колебания с частотой от единиц Герц (Гц) до 20 Гц называются **инфразвуковыми**, при частоте от 20 Гц до 16...20 кГц колебания создают слышимые звуки. Ультразвуковые колебания соответствуют частотам от 16...20 кГц до 108 Гц, а колебания с частотой более 108 Гц получили название **гиперзвуков** [102, 89, 94]. На рисунке 3.3 показана логарифмическая шкала частот, выполненная на основе выражения $\lg 2f = 1, 2, 3, \dots, n$, где 1, 2, 3, ..., n — номера октав.

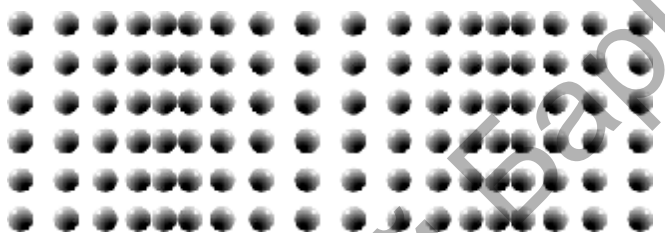


Рисунок 3.3 — Диапазоны упругих колебаний в материальных средах

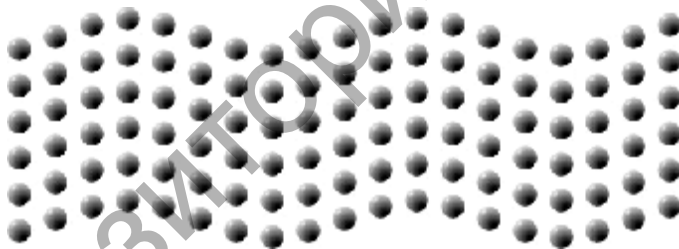
Физическая природа упругих колебаний одинакова во всем диапазоне частот. Для понимания природы упругих колебаний рассмотрим их свойства.

Форма волны — это форма волнового фронта, т. е. совокупности точек, обладающих одинаковой фазой. Колебания плоскости создают плоскую звуковую волну, если излучателем служит цилиндр, периодически сжимающийся и расширяющийся по направлению своего радиуса, то возникает цилиндрическая волна. Точечный излучатель, или пульсирующий шарик, размеры которого малы, по сравнению с длиной излучаемой волны, воздает сферическую волну.

В зависимости от условий возбуждения и распространения звуковые волны по типу подразделяются следующим образом: продольные, поперечные, изгибные, крутильные. В жидкостях и газах распространяются только продольные волны, в твердых телах могут возникать поперечные и другие типы волн. В продольной волне направление колебаний частиц совпадает с направлением распространения волны (рис. 3.4, *a*), поперечная волна распространяется перпендикулярно направлению колебаний частиц (рис. 3.4, *б*).



a)



б)

a — продольная волна; *б* — поперечная волна

Рисунок 3.4 — Колебания в материальных средах

Любая волна, как колебание, распространяющееся во времени и в пространстве, может быть охарактеризована частотой, длиной волны и амплитудой (рис. 3.4) [89; 94]. При этом длина волны λ связана с частотой f через скорость распространения волны в данном материале c : $\lambda = c / f$.

Обычно границей начала ультразвукового диапазона частот принято считать 16...20 кГц. Следует отметить, что столь большой

диапазон выбран по той причине, что для каждого человека граница ультразвука (неслышимости звука) своя. Для некоторых это 10 кГц, для других — 20 кГц, а встречаются уникамы, способные воспринимать и 25 кГц.

Еще более сложная проблема с определением верхней границы ультразвукового диапазона. Возможности человеческого уха здесь не играют роли, и приходится отталкиваться от физической природы упругих колебаний, которые могут распространяться в материальной среде при условии, когда длина волны больше межатомных расстояний (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 — Волновые свойства ультразвука

Длина их волны пропорциональна $1/f$. $\lambda = c/f$. На основании исследований установлено существование ультразвуковых колебаний с частотой большей, чем 100 мГц. Ультразвук более высокой частоты затухает настолько, что колебания поглощаются непосредственно у поверхности излучателя.

На практике используются ультразвуковые колебания с частотой до 25 мГц [89; 94; 102]. Колебания таких высоких частот могут распространяться только в кристаллах.

Контроль физико-механических свойств материалов. Акустические методы измерения физико-механических свойств материалов основаны на связи таких характеристик материалов, как скорость распространения упругой волны, коэффициент затухания,

акустическое сопротивление с их эксплуатационными свойствами: упругими постоянными, прочностью, текстурой, внутренними напряжениями, твердостью, величиной зерна и т. д.

Методы, основанные на измерении скорости ультразвуковых колебаний. Изотропные твердые материалы характеризуются двумя упругими постоянными, величина которых однозначно определяется двумя значениями скоростей продольных и сдвиговых волн. Для измерения скорости упругих волн используют три основных метода: метод свободных колебаний, метод вынужденных колебаний и импульсный. Импульсный метод измерения скорости акустических волн в настоящее время применяют чаще других. Как отмечалось ранее, измерение скорости акустических волн позволяет непосредственно определять лишь модули упругости и коэффициент Пуассона. Однако существуют корреляционные зависимости между скоростью и другими важными эксплуатационными характеристиками материалов.

Скорость звука используется как показатель прочностных свойств стеклопластиков, некоторых горных пород, технических тканей, древесины и древесных плит. Установлена корреляция скорости распространения излучения со структурой и содержанием включений в некоторых материалах. Например, скорость зависит от числа и формы графитных включений в чугунах, пористости спеченных материалов (в порошковой металлургии).

Акустические методы эффективно используются для контроля упругой анизотропии и текстуры материалов путем измерения скорости трех волн: продольной и двух сдвиговых с взаимоперпендикулярным направлением колебаний частиц (поляризованных под углом 90° друг к другу). Такой метод реализуется с помощью электромагнитно-акустических преобразователей. В результате определяются упругие постоянные, главные направления кристаллических осей и текстуру материалов, что важно для оценки механических свойств материалов.

Измерения относительного изменения скорости упругих колебаний позволяют измерять величины прикладываемых напряжений. Это важно, например, для завинчивания болтов до заданных величин. Точность измерения сжимающих или растягивающих напряжений может достигать 0,2 МПа. Удаётся контролировать степень наклепа поверхностного слоя металла [106; 107].

Методы, основанные на измерении затухания, могут выполняться резонансным методом, методом свободных колебаний и импульсным методом. Наибольшее распространение получили импульсные методы, заключающиеся в определении соотношения амплитуд двух импульсов, прошедшие в материале разный путь. Практическое применение ультразвука развивается в двух направлениях (рис. 3.6):

1) применение волн малой интенсивности (низкоэнергетические колебания, не приводящие к необратимым изменениям в материалах и телах, через которые они распространяются) для контроля, измерений, исследований внутренней структуры материалов и изделий (уровнемеры, расходомеры, анализаторы состава газов, жидкости и твердых веществ, дефектоскопы) [106];

2) применение высокоэнергетических колебаний (волны высокой интенсивности для активного воздействия на вещества и изменения их структуры и свойств) [113].

Область применения ультразвуковых колебаний низкой интенсивности (условно до $1 \text{ Вт} / \text{см}^2$) очень обширна и используется в:

– ультразвуковых приборах для контроля химических характеристик различных материалов и сред;

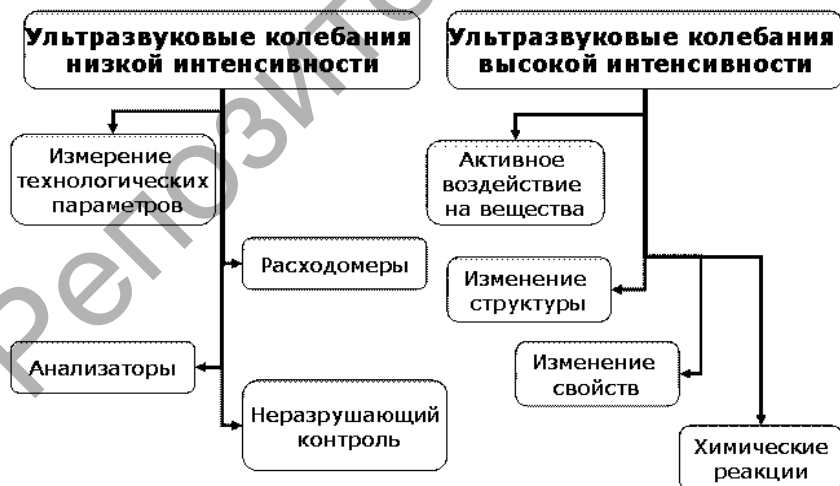


Рисунок 3.6 — Область применения ультразвука

– приборах для контроля физико-химических характеристик, основанные на измерении затухания ультразвука. Такие приборы позволяют осуществлять измерение вязкости, измерение плотности, состав, содержание примесей, газов и т. п. Используемые методики также основаны на методах сравнения с эталоном;

– ультразвуковых расходомерах жидкостей в трубопроводах. Их действие также основано на измерении скорости распространения ультразвуковых колебаний вдоль потока жидкости и против потока.

Сравнение двух скоростей позволяет определить скорость потока, а при известном сечении трубопровода — расход. Мешающие измерению потери вызываются дифракционным расхождением волн, непараллельностью поверхностей и неполным отражением волн на границах образцов. Случайные изменения толщины слоя контактной жидкости могут вообще не позволить выполнять измерения. Наибольшей точности в этом случае можно достигнуть применением электромагнитно-акустического способа возбуждения и приема ультразвуковых импульсов [113].

Ошибки при изучении частотной зависимости коэффициента затухания, используемой часто для оценки величины зерна материала, могут возникать в результате изменения основной частоты вследствие более сильного затухания высокочастотных составляющих сигнала. Точность измерений повышается путем увеличения длительности импульсов или путем разложения принимаемых сигналов по частотным составляющим и с последующим использованием части спектра, соответствующей исследуемой.

Точность измерения характеристик материалов по величине затухания упругих колебаний составляет 5...10%. Для повышения точности при практических измерениях широкое распространение получил способ сравнительного измерения затухания по амплитудам импульсов, проходящим один и тот же путь в образцах и изделиях одинаковой формы при аналогичных условиях измерений.

Самый распространенный способ применения ультразвука для технологических измерений заключается в контроле одного и того же участка изделия на двух частотах. При этом одна из частот выбирается заведомо низкой, такой, чтобы затухание ультразвука слабо зависело от структурных составляющих. Другая частота должна соответствовать области максимального рассеивания. Отношение измеренных на разных частотах амплитуд сигналов

называется структурным коэффициентом. Его сравнивают с таким же коэффициентом, полученным на эталонных образцах. Обычно используются частоты излучения 0,65...20 МГц. При этом диапазон измерения величины частиц в различных материалах лежит в пределах 1...9 баллов. Точность определения 1 балл. Способ измерения структурного коэффициента используют также для контроля межкристаллитной коррозии. Комплексное измерение затухания и скорости ультразвука часто оказывается полезным для оценки пораженности материала изделия микротрещинами. Методы, основанные на измерении акустического сопротивления, используют физическое свойство — отражающую способность поверхности раздела двух сред [106; 113]. Если граница раздела содержит тонкие слои, то акустическое сопротивление будет комплексной величиной, т. е. при отражении от границы раздела двух сред ультразвуковой импульс изменяется не только по амплитуде, но и по фазе.

На измерении акустического сопротивления при отражении ультразвуковых импульсов от поверхности основан метод контроля прочности клеевых покрытий или клеевых соединений. Акустическое сопротивление оценивают по величине коэффициента отражения на границе раздела. Коэффициент отражения определяют по амплитуде первого полупериода эхо-сигнала от границы раздела материалов. Контроль выполняют эхо-дефектоскопом, у которого имеется режим работы с непродетектированными сигналами. Обычно используются частоты упругих колебаний свыше 4 МГц. Метод позволяет проверять соединения металлов, армированных и неармированных пластмасс и других материалов, хорошо проводящих ультразвук, с внутренними элементами из любых материалов.

На таком же принципе построен метод измерения важной механической характеристики — твердости [129—131]. В этом случае пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) имеет на рабочей поверхности острый алмазный наконечник. При установлении его на изделие и подачи от пьезоэлектрического преобразователя деформаций алмазный наконечник внедряется в контролируемый материал на определенную величину, зависящую от твердости. Прибор для измерений градуируется непосредственно в единицах твердости.

Кроме перечисленных, акустический метод позволяет определять одновременно несколько параметров материала. Такая возможность обусловлена сложной зависимостью скорости упругих колебаний от свойств материала.

В производстве широко применяются также сигнализаторы уровня. Принцип действия основан на локации уровня жидких или сыпучих материалов ультразвуковыми импульсами, проходящими через газовую среду, и на явлении отражения этих импульсов от границы раздела «Газ — контролируемая среда». Мерой уровня при этом является время распространения звуковых колебаний от излучателя до контролируемой границы раздела сред и обратно до приемника. Результат измерения выводится на персональный компьютер, где все измерения запоминаются, с последующей возможностью их просмотра и анализа, а также подключения к системе автоматизированного сбора и обработки данных. Уровнемер в составе системы может включать конечные автоматы, насосы и другие устройства при уровне выше максимального и ниже минимального значения, что позволяет автоматизировать технологический процесс. Дополнительно формируется токовый выход (0,5 мА, 0...20 мА) для самопишущих приборов.

Сигнализатор уровня позволяет контролировать температуру среды в резервуарах. Основным форматом выводимых данных является расстояние от вершины резервуара до поверхности, содержащегося в нем вещества. По желанию заказчика, при предоставлении необходимой информации, возможна доработка устройства для вывода высоты, массы либо объема вещества в резервуаре;

- ультразвуковых анализаторах состава газов, основанных на использовании зависимости скорости ультразвука в смеси газов от скоростей в каждом из составляющих эту смесь газов;

- охранных ультразвуковых устройствах, основанных на измерении различных параметров ультразвуковых полей (амплитуды колебаний при перекрытии пространства между излучателем и приемником, изменении частоты при отражении от движущегося объекта и т. п.);

- измерителях температуры газов и пожарных сигнализаторов, основанных на изменении скорости распространения при изменении температуры среды или появления дыма;

– приборах ультразвукового неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль является одним из основных технологических приемов обеспечения качества материалов и изделий. Не одно изделие не должно эксплуатироваться без проверки. Можно проверку осуществить путем испытаний, но так можно испытать 1—10 изделий, но нельзя проверить 100% всех изделий, так как проверить — это значит испортить все изделия. Поэтому, проверять необходимо, не разрушая.

Одни из наиболее дешевых, простых и чувствительных является ультразвуковой метод неразрушающего контроля. Главными достоинствами, по сравнению с другими методами неразрушающих испытаний, являются:

– обнаружение дефектов, находящихся глубоко внутри материала, что стало возможным благодаря улучшенной проникающей способности. Ультразвуковое обследование проводится до глубины нескольких метров. Контролю подвергаются различные изделия: например, длинные стальные стержни, роторные штамповки и т. д.;

– высокая чувствительность при обнаружении чрезвычайно малых дефектов длиной несколько миллиметров;

– точное определение местоположения внутренних дефектов, оценка их размера, характеристика направления, формы и природы;

– достаточность доступа только к одной из сторон изделия;

– контроль процесса электронными средствами, что обеспечивает почти мгновенное выявление дефектов;

– объемное сканирование, что позволяет обследовать объем материала;

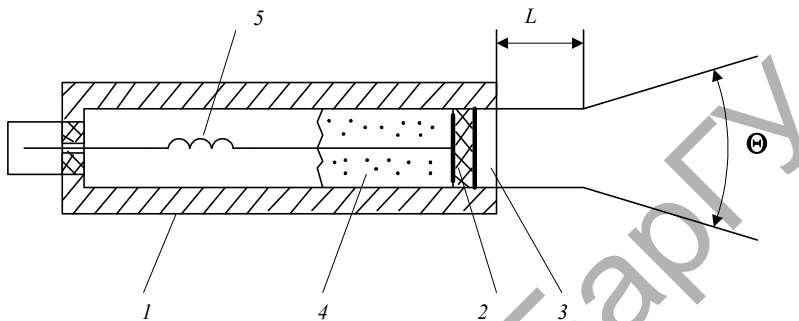
– отсутствие требований по мерам предосторожности, связанным со здоровьем;

– портативность оборудования.

Для измерений и контроля внутренних пороков древесного ствола и толщины коры, в соответствии с рассмотренными характеристиками, предполагается использование метода неразрушающего контроля ультразвуковых преобразователей.

Датчики ультразвуковых сканеров. Датчиком ультразвукового (УЗ) сканера называют выносное устройство, которое служит для локации объекта УЗ колебаниями, приема и преобразования в электрические импульсы отраженных звуковых сигналов (эхо). Датчик содержит один или несколько пьезоэлементов и другие

механические и электрические компоненты, тип которых зависит от назначения датчика. Рассмотрим устройство простейшего датчика, содержащего один пьезоэлемент (рис. 3.7).



1 — корпус; 2 — пьезоэлемент; 3 — согласующий слой; 4 — демпфер;
5 — излучатель колебаний

Рисунок 3.7 — Одномерный ультразвуковой датчик

В металлическом корпусе 1 расположен пьезоэлемент 2, который снаружи покрыт согласующим слоем 3. С тыльной стороны пьезоэлемента расположен демпфер 4 — слой пористой керамики, предназначенный для гашения звуковых колебаний, излучаемых назад, и для получения коротких УЗ импульсов. Возбуждение и съем сигнала с ПЭП осуществляется через коаксиальный разъем, причем наружный электрод ПЭП соединен с корпусом. Для того, чтобы пьезопреобразователь работал на частоте собственного механического резонанса, его толщину выбирают равной половине длины волны возникающих в нем звуковых колебаний. Например, для датчика типа ЦТС-19 при частоте 3 МГц длина волны λ_n исчисляется следующим образом

$$\lambda_n = \frac{c_k}{f} = \frac{4000}{3 \cdot 10^6} = 1,33 \text{ мм},$$

где c_k — скорость распространения колебаний,

f — частота колебаний.

следовательно толщина пьезоэлемента будет равна 0,67 мм. Сканирование таким датчиком осуществляется путем непосредственного

контакта с поверхностью материалов. При этом неизбежны потери мощности УЗ колебаний из-за отражения. Для его уменьшения и служит согласующий слой. При его отсутствии, вследствие большого различия волновых импедансов пьезоэлектрика и анизотропных материалов, коэффициент отражения был бы равен 0,87; т. е. лишь 13% излучаемой энергии проходило бы в материал. Для исключения отражений необходимо, чтобы волновой импеданс согласующего слоя был равен среднегеометрической величине волновых импедансов пьезоэлектрика и материала. Характеристика направленности датчика определяется размерами его рабочей поверхности — апертуры. Ее примерный вид для дискового ПЭП показан на рисунке 3.8.

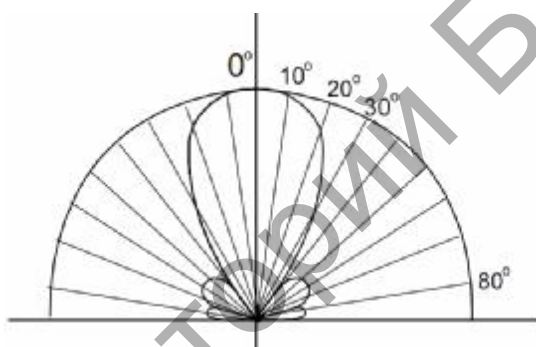


Рисунок 3.8 — Общий вид примерной диаграммы направленности ПЭП

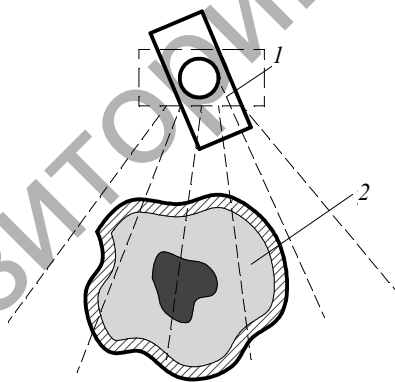
Она имеет так называемую ближнюю зону (зону Френеля) длиной L и дальнюю зону (Фраунгофера), в которой УЗ луч расходится с углом θ . Эти параметры зависят от соотношения диаметра ПЭП и длины волны УЗ в материалах и определяются по формулам

$$L = \frac{D^2}{4\lambda} ; \theta = \arcsin 1,22 \frac{\lambda}{D}.$$

Например, для $D = 10$ мм и $\lambda = 0,5$ мм имеем $L = 50$ мм и $\theta \approx 3^\circ$, т. е. протяженность ближней зоны достаточно велика, а угол рас-

хождения — мал. Датчик с такой характеристикой направленности обеспечивает концентрированное излучение и селективный прием сигналов вдоль оси луча. Если же $D = 1$ мм, то $L = 0,5$ мм и $\theta \approx 40^\circ$, т. е. ближняя зона практически отсутствует, а угол расхождения очень большой. Если поверхность ПЭП выполнить вогнутой, то УЗ луч можно сфокусировать. Фокусное расстояние будет определяться радиусом кривизны. Для фокусировки применяют также акустические линзы. Они могут быть вогнутыми и выпуклыми. Если линза выпуклая, то она должна быть изготовлена из материала, скорость звука в котором меньше скорости звука в тканях. Применяют также электронно-управляемую фокусировку УЗ луча, которая будет рассмотрена ниже.

Механический секторный датчик обычно имеет один дисковый пьезоэлемент, который с помощью какого-либо исполнительного элемента (обычно электродвигателя) совершает качение вокруг оси и зондирует объект УЗ импульсами с высокой частотой повторения (рис. 3.9).



1 — излучатель; 2 — сортимент

Рисунок 3.9 — Сканирование механическим секторным датчиком

На экране монитора изображение сечения предмета или объекта получается из яркостных меток, расположенных вдоль УЗ луча. Дискретность изображения зависит от количества УЗ лучей (желательно, чтобы их было как можно больше) [89]. Механические секторные

датчики имеют относительно небольшую частоту качаний — 10...15 в секунду (под качанием будем понимать перемещение пьезоэлемента из одного крайнего углового положения в другое). Если принять максимальную глубину локации Z_{\max} равной 200 мм, то время движения УЗ луча в оба конца составит $T_{\max} = 2 \cdot Z_{\max} / c = 270$ мкс. Нетрудно рассчитать, что при частоте качаний, равной 10 с^{-1} , один кадр УЗ изображения будет содержать около 300 лучей. На практике их число выбирают равным 128 или 256.

3.2 Координатные сканирующие устройства — основа для формирования параметрических моделей фанерных сортиментов

3.2.1 Измеритель параметров круглых лесоматериалов на основе инфракрасных преобразователей

Прототипы электронных приборов, использующие принцип сканирования инфракрасными лучами для автоматического подсчета кубатуры и измерения диаметра бревен, были разработаны лабораторией нижних складов СевНИИП Архангельска еще в 1989 г. Первый опытный образец, прообраз современных инфракрасных сканеров, был установлен в 1990 г. в Митинском леспромохозе Вологодской области, в составе системы управления линией сортировки круглого леса ЛТ-192И. Измеритель бревен был успешно испытан и допущен государственной комиссией в серийное производство. Все эти годы устройство модернизировалось, совершенствовались алгоритмы и элементная база. В 1998 г. была разработана версия измерителя бревен, обеспечивающая программную и аппаратную совместимость интерфейса с распространенным в то время на рынке сканером *Rema Control (RemaLog 9000)*, после чего последовала серия успешных модернизаций автоматики линий сортировки бревен шведского и финского производства таких, как *Ingvar Person, XQ 4000, Interlog* и т. п.

В настоящее время выпускается уже пятое поколение сканеров бревен. Они находят применение на различных технологических этапах лесопильного производства: от сортировки пиловочного

сырья до системы управления позиционированием бревна на ленточных пилорамах. Системы входного учета лесоматериалов (круглого леса) начали устанавливаться более 15 лет назад и в настоящее время уже работают на сотнях лесопильных предприятий, фанерных и спичечных комбинатах. Основой системы учета является простой, надежный и недорогой измеритель бревен в одной плоскости «ВЕКТОР 2010Е». Современные требования к измерениям предусматривают как высокую точность и повторяемость измерений, так и развитые функциональные возможности: измерение полного профиля бревна, овальности и кривизны. Разработанный нашими специалистами сканер бревен «ВЕКТОР 3DE» позволяет учитывать трехмерные параметры круглых лесоматериалов (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 — Изображение, полученное с телевизионного сканера, поверхности круглых лесоматериалов

Измеритель геометрических параметров бревен «ВЕКТОР 3D» предназначен для работы в качестве автоматического средства измерений параметров бревен в составе автоматизированных линий сортировки круглых лесоматериалов, систем оптимизации распила

и учета круглого леса. «ВЕКТОР 3D» состоит из системы видеокамер и лазерных маркеров, расположенных под углом относительно друг друга. Лазерами на поверхности бревна создается линия, видимая на кадрах от видеокамер и образующая полный контур сечения бревна. Сигнал от видеокамер поступает на плату видеообработки компьютера, преобразуется в цифровую форму и обрабатывается специальным программным обеспечением.

Промышленная система, предназначенная для работы на лесозаготовительных участках, имеет следующие преимущества:

- 1) 3D реалистичность результатов измерений;
- 2) монтаж на все типы транспортеров;
- 3) непрерывность конвейера;
- 4) надежность в эксплуатации;
- 5) устойчивость к климатическим изменениям.

Основные функции: измерение и передача информации о геометрических параметрах бревен в режиме он-лайн (производится для следующих параметров: диаметра переднего торца; диаметра по средней части; диаметра заднего торца; длины; сбега вершинной части; сбега комлевой части; объема; расстояния от заднего торца до центра тяжести; кривизны; овальности; вписанных эллипсов по каждому сечению; полной информации о поверхности бревна).

Состав измерителя: 1) промышленные видеокамеры; 2) адаптеры видеокамер; 3) плата видеозахвата; 4) лазерные разметчики; 5) блоки питания; 6) датчик длины; 7) фотодатчик; 8) промышленный компьютер.

Для каждого бревна индивидуально системой учета автоматически подсчитывается толщина коры. Алгоритм вычисления определяется породой древесины и зависит непосредственно от диаметра бревна. Основные настроечные коэффициенты исключения коры задаются на этапе наладки и в дальнейшем могут корректироваться ответственным лицом с помощью специального меню, вход в которое возможен через пароль. Таким образом достигается максимальная достоверность информации при измерении бревен с корой.

Настройка измерителя производится с помощью терминала или программы-мастера. Универсальные возможности настройки измерителя при помощи регулируемых параметров позволяют приспособить его к особенностям проведения измерений для различных типов конвейера (рис. 3.11).

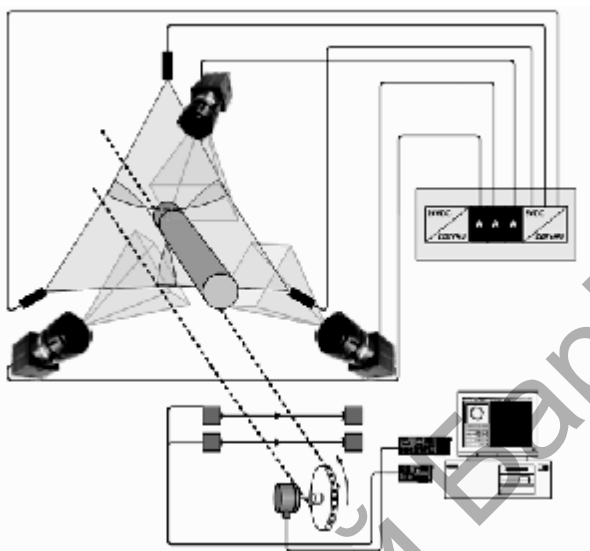


Рисунок 3.11 — Схематическое изображение способа измерения трехмерных параметров сортимента

Основа высокой точности измерений — это множество измерений по всей длине бревна при его прохождении сквозь измерительный створ (например, при 3D-сканировании профиль строится по сотням тысяч точек).

Дальнейшая многопроходная обработка профиля по специальным алгоритмам производит анализ информации и отсеивает мешающих факторов: кора на бревне может быть повреждена, сучки, сколы и т. п. Диаметр в верхнем и нижнем торце определяется с небольшим отступом.

Результатом обработки контура сечения бревна является определение не только его размеров, но и формы. С помощью измерителей такого типа могут быть определены и параметризованы неровности поверхности бревна: выпуклости (сучки, наросты) и впадины (душла). Прочие параметры бревна (объем, кривизна, сбег, и т. д.) вычисляются на основании результатов измерения диаметров и длины бревна [127; 129].

Применение телевизионных сканирующих систем не лишено недостатков. Одним из серьезных моментов, который необходимо

учитывать, является запыленность пространства и значительные перепады температур, что может повлиять на точность преобразования параметров.

3.2.2 Системы сканирования круглых лесоматериалов с использованием рентгеновской компьютерной томографии

Измерение параметров круглых лесоматериалов — это основная задача, решение которой позволяет увеличить экономическую эффективность деревоперерабатывающих предприятий. Новая модульная система рентгеновской томографии (от одного до шести направлений) может использоваться для сортировки лесо- и пиломатериалов для различных типов промышленного применения. Принцип работы такой системы основан на рентгенографическом сканировании пространства, в котором находится сортимент. В лесопильной промышленности коммерческой целью является внедрение новых методов распиловки с использованием новой рентгеновской технологии в ходе сортировки бревен (рис. 3.12).

Выпускаемое промышленностью устройство позволяет провести оптимизацию раскряжевочного процесса с использованием функций

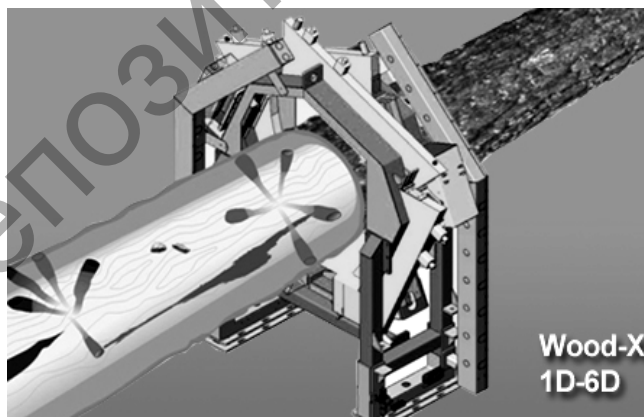


Рисунок 3.12 — Устройство рентгенографического сканирования бревен

исследования внутренней структуры бревна и вывода трехмерных данных. Во время сканирования бревна имеется возможность отслеживать внутреннее строение бревна. Эта возможность в фанерном производстве может использоваться для определения пороков строения древесины. К примеру, исследуя местоположение ядровой гнили в древесном стволе, можно провести оптимальную распиловку лесоматериала на сортименты.

При изучении внутренней структуры древесных стволов создается возможность управлять качеством продукции. Внедрение таких устройств в производство позволит использовать новые интегрированные процессы на основе принципа последовательности операций. Определенную сложность представляет использование рентгеновской технологии, которая требует дополнительных затрат на разработку системы защиты персонала.

Одним из примеров оборудования, использующего принцип рентгенографического сканирования, является комплексная система фирмы *Sawco*.

Определенный интерес представляет продукция этой фирмы. *ProScan* — высокоточный измеритель бревен, который сканирует каждое бревно в 100 000 точек измерения (рис. 3.13). В конструкцию *ProScan* входят три камеры, что позволяет получить максимально



Рисунок 3.13 — Узел сканирования бревен

точную и подробную информацию о форме бревна. *ProScan* — высокопроизводительный измеритель, который применяется, как в процессе сортировки бревен, так и на линиях распиловки. Устройство обладает следующими преимуществами: измерительная система совместима с высокоскоростными конвейерами; требуется минимальная калибровка и техническое обслуживание; имеется возможность сканирования бревен до процесса окорки; измеряет точную форму бревна, с учетом кривизны (изгиба), сучков, повреждений и пр.

В измерительный комплекс входят также системы *ProBark* — система

измерения толщины коры и конфигурации бревна под корой на неокоренных бревнах. Применение системы обеспечивает более высокую точность сортировки бревен, что в свою очередь ведет к увеличению выхода и минимизации обзола, а значит улучшению качества и большей прибыли.

В комплекс оборудования входит так же модуль контроля *ProLine* для контрольного измерения после работы основного станка. Незначительные ошибки при центровке или кантовании бревна могут привести к значительным потерям в выходе продукции. Повторные измерения и исправления таких ошибок крайне проблематичны. В ходе работы *ProLine* непрерывно контролирует подачу бревна и основные настройки пильного станка.

Система отслеживает ошибки центрирования, угол подачи бревна, ошибки при кантовании, высоту бруса и разброс по высоте, деформацию бруса и разброс значений деформации, перекося. Оператор может вести постоянный визуальный контроль процесса пиления и сразу фиксировать ошибки. Он может легко переключать параметры контроля. Для расширенного анализа возможно составление различных отчетов за любой заданный период.

ProOpt — компьютерное устройство для оптимизации полезного выхода из бревна. Оптимизация выполняется в режиме он-лайн, т. е. непосредственно во время процесса распиловки. Оптимизация распиловки каждого бревна основана на учете его индивидуальной формы. Во время прохождения бревна через трехмерный сканер производятся замеры параметров, необходимые для расчета оптимизации раскроя.

В процессе оптимизации определяется наилучшее размещение для криволинейной распиловки, угол поворота бревна, модель раскроя и выравнивание в процессе распиловки для каждого отдельного бревна или бруса.

Система является функциональным инструментом контроля производства, с помощью которой информация о существующих запасах бревен может быть введена и использована для планирования работы предприятия.

ProSort — прикладная программа сортировки, системные решения которой предназначены для любых линий сортировки сухих и сырых пиломатериалов, а также строгальных цехов.

Все параметры в *ProSort* хранятся в базе данных *SQL*, которая может быть установлена на любом компьютере, подключенном к сети *ProSort*.

Основной недостаток сканирующей системы — наличие сложной и небезопасной рентгеновской системы, которая требует постоянного обслуживания и в значительной степени влияет на состояние здоровья операторов.

3.2.3 Светотеневой измеритель параметров круглых лесоматериалов

Особую группу устройств представляет измеритель геометрических параметров бревен «Алмаз», который предназначен для работы в качестве автоматического средства измерения параметров бревен и может применяться как самостоятельно, так и в составе автоматизированных систем управления сортировочными и раскряжевочными линиями, систем учета сырья на всех участках предприятия, систем адаптивного управления лесоперерабатывающим оборудованием (рис. 3.14).

Измеритель бревен «АЛМАЗ» измеряет, вычисляет и передает в систему управления (учета) следующие параметры бревен: 1) диаметр переднего торца; 2) диаметр в средней части; 3) диаметр заднего торца; 4) длину; 5) сбег вершинной части; 6) сбег комлевой части; 7) физический объем; 8) кривизну; 9) овальность.

Принцип работы измерителя заключается в следующем: пары линеек и излучатель-приемник образуют измерительный створ. Микроконтроллер управляет включением в определенном порядке излучателей, благодаря чему в створе измерения образуется очень плотная сеть лучей. При этом расстояние между двумя соседними лучами составляет 1,7 мм, а общее количество лучей достигает 450. При отсутствии бревна в створе измерения измеритель работает в режиме сканирования контрольной зоны в поисках бревна. В момент попадания в створ измерения любого объекта измеритель переходит в режим измерения и по числу перекрытых лучей определяет величину объекта. При движущемся конвейере через определенные интервалы происходят следующие измерения. Благодаря тому, что на каждое измерение затрачивается очень небольшое время (несколько миллисекунд), становится возможным обмерять бревно, например, длиной 6 м, при скорости конвейера в 1 м / с более чем в 1 200 точках (рис. 3.15).

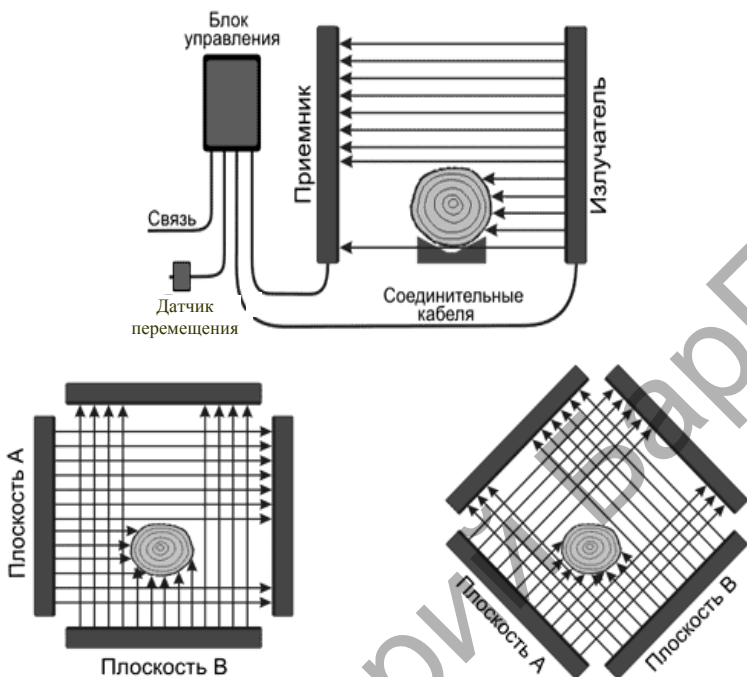


Рисунок 3.14 — Измерение в одной и двух плоскостях

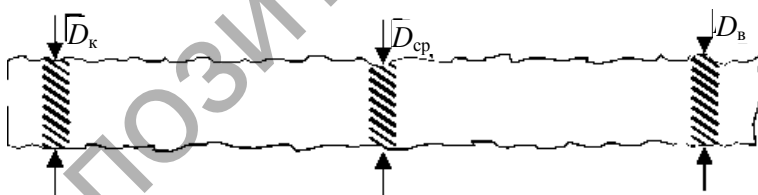


Рисунок 3.15 — Определение параметров бревен

Определение параметров бревен. Благодаря специальному алгоритму измерения, учитывающему огромное число замеров по бревну, влияние таких факторов, как попадание в зону измерения элементов конструкции конвейера (звенья цепи, поперечные траверсы), повреждения бревна, наличие сколов, зарубок, выпадения коры

и тому подобных сводится к минимуму. При этом, например, диаметры бревна в вершинной, комлевой и средней частях определяются не в единственной точке, а на определенном участке профиля, заданном в системных параметрах измерителя. Профиль бревна в памяти микроконтроллера с большим количеством замеров позволяет определять любые параметры с высокой точностью и находить объем любым способом, рекомендуемым российскими и зарубежными стандартами — по таблицам ГОСТ 2708, правилам по Губеру — методом срединного диаметра, по концевым сечениям и т. д. Эта задача возлагается на программное обеспечение верхнего уровня, установленное на персональном компьютере или микроконтроллере в системе управления сортировочной или раскряжевой линией, системе учета. При этом учитывается наличие либо отсутствие коры на бревне по месту установки измерителя (до или после окорочного станка); при наличии коры в момент измерения для вычисления объема она отбрасывается с применением таблиц коэффициентов на кору, учитывающих породу бревна и его диаметр. Эти коэффициенты получены в результате статистического анализа большого количества бревен, и их применение на практике дает очень близкие к теоретическому значению результаты.

Преимущества при применении измерителя бревен «АЛМАЗ»:

- 1) увеличение выхода готовой продукции;
- 2) снижение производственных издержек;
- 3) контроль качества поступающего сырья;
- 4) исключение «человеческого фактора» при приемке круглого леса;
- 5) уменьшение числа занятых людей;
- 6) высокая точность измерений;
- 7) большое количество определяемых параметров;
- 8) возможность интеграции в любую систему управления технологическим оборудованием;
- 9) возможность передачи данных в систему управления производством (ПО).

Аналогичные устройства с электронным и механическим управлением выпускают фирмы *KELLER*, *HOLTEC* (Германия). Однако работа этих устройств, как правило, происходит при использовании классических способов базирования: без применения методов точного позиционирования фанерных сортиментов с учетом их кривизны и других пороков. Это не позволяет получать максимально возможный выход качественного шпона.

3.2.4 Перспективы координатных методов сканирования рельефных поверхностей

Проведенный обзор существующих методов и устройств подтверждает, что одним из наиболее точных измерительных преобразователей являются оптические датчики. От количества датчиков существенно зависит точность преобразования данных и, как следствие, адекватность сформированной впоследствии модели [52; 104; 116].

Интерполяция образующей хлыста и полиномиальных моделей древесных стволов, в соответствии с данными расчета [50—52], показала высокую точность сплайновых моделей образующей. При разработке моделей с помощью трехмерной системы моделирования учитывалась специфика технологии и минимальные затраты машинного времени. Эти ограничения связаны с возможностями применяемого компьютерного оборудования. Зависимость погрешности объема от количества сечений показана на рисунке 3.16.

Для выявления закономерностей и исследования процесса базирования сортиментов точность интерполяции должна быть не меньше 1 мм. Значимые погрешности метода уменьшаются уже после пяти сечений (см. рис. 3.16) [116]. Исходя из этих соображений

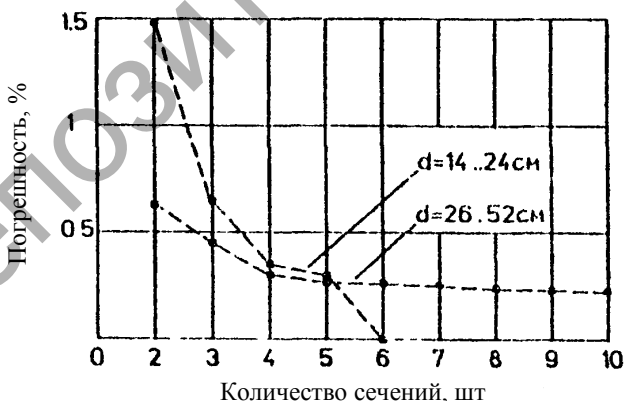
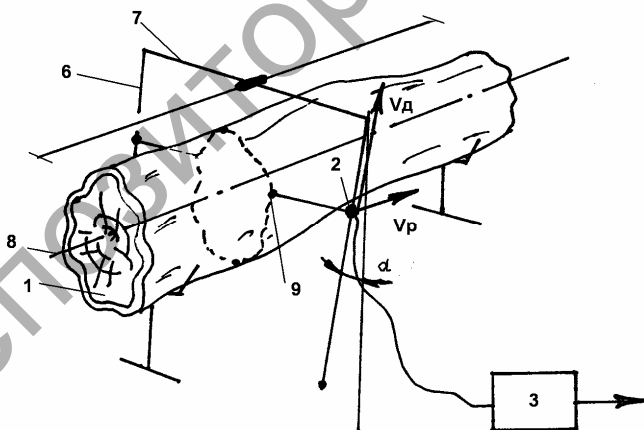


Рисунок 3.16 — Зависимость погрешности определения объемов от количества сечений

и учитывая конструктивные особенности измерительного устройства для методов, применяемых в данной работе, были приняты 12 узловых точек (образуют замкнутый сплайн поперечного сечения сортиmenta) и 8 поперечных сечений по длине сортиmenta [47—50].

3.2.5 Формирования трехмерной модели сортиmenta с помощью сканирующих устройств с сенсорными датчиками

Разработка способа формирования модели по ее параметрам — наиболее сложная задача, которая ставится при использовании современных измерительных систем. Для ее решения необходимо выполнить оцифровывание поверхности лесоматериалов. Для каждого типа рельефных поверхностей может использоваться определенный алгоритм формирования трехмерной поверхности. При проведении экспериментальных исследований было использовано несколько способов преобразования координат. Схема разработанного устройства с подвижными измерительными датчиками представлена на рисунке 3.17.



1 — сортимент; 2 — оптический преобразователь; 3 — система управления; 6 — боковая стойка; 7 — горизонтальная стойка рамы; 8 — ось сортиmenta; 9 — профильное сечение сортиmenta

Рисунок 3.17 — Схема взаимодействия элементов измерительной системы

Устройство для определения геометрической формы фанерных сортиментов состоит из датчиков, расположенных на боковых стойках b подвижной измерительной рамы [138]. Датчики передают отраженный от поверхности фанерного сортимента сигнал в систему управления. Они совершают возвратно-поступательные перемещения по наклонным боковым стойкам b подвижной измерительной рамы, которая перемещается вдоль фанерного сортимента. Боковые стойки подвижной измерительной рамы расположены под углом α к продольной оси фанерного сортимента. Угол α зависит от скорости движения боковых стоек подвижной измерительной рамы v_p и скорости движения датчиков v_d по следующей зависимости:

$$\sin \alpha = \frac{v_p}{v_d}.$$

Устройство для определения геометрической формы фанерных сортиментов работает следующим образом: датчики совершают синхронные возвратно-поступательные движения вдоль наклонных боковых стоек подвижной измерительной рамы, причем, когда горизонтальные проекции векторов скоростей движения датчиков v_d и подвижной рамы v_p имеют одинаковое направление, то в систему управления поступает сигнал, характеризующий перпендикулярное поперечное сечение фанерного сортимента в точке, совпадающей с началом движения датчика. При обратном движении датчика, когда горизонтальные проекции векторов скоростей движения v_d и v_p направлены противоположно, сигналы, поступающие от датчиков, будут описывать наклонное эллипсовидное сечение фанерного сортимента.

Такое чередование перпендикулярных сечений с наклонными поперечными сечениями позволит сформировать достаточно точную трехмерную геометрическую базовую модель фанерного сортимента, которая может быть использована для оптимизации последующей обработки сортиментов в станке и уменьшит количество отходов до минимума.

3.3 Параметрическое моделирование геометрической формы сортиментов

3.3.1 Задача параметрического моделирования и основные критерии модели

Моделирование геометрической формы фанерных сортиментов проводится путем измерений координат поверхности в дискретном наборе точек. Задача моделирования формы поверхности по измеренному набору координат точек на реальной поверхности позволяет получить точное отображение размерных и геометрических характеристик. Если будет построена модель поверхности, ее можно использовать для исследования технологических операций и расчета отдельных критериев. Построение аналитической или алгоритмической модели геометрической формы с заданными характеристиками относится к геометрическому моделированию. Теоретической основой геометрического моделирования являются математические методы, алгоритмы и подходы, ориентированные на широкое применение компьютерных систем. В процессе геометрического моделирования с помощью компьютерных систем выделяют следующие критерии модели:

- гладкость форм и обводов построенной модели (свойство необходимо для соответствия гладкости реальному объекту, несмотря на дискретность исходным данным. Уравнением гладкости можно варьировать при составлении грубых и точных моделей);
- использование диалога в процессе построения модели (позволяет учесть специфические особенности модели и использовать нужный алгоритм на этапе ее создания).

В процессе геометрического моделирования решаются два различных типа задач: задача интерполяции объекта по имеющимся данным; задача моделирования и формирования сложных поверхностей. При разработке базовой модели фанерного сортимента, которую можно использовать для исследования технологических операций, преимущественно рассматриваются вопросы интерполяции формы объекта по измеренным данным, полученным с помощью контрольно-измерительных устройств. Задача является метрологическим аспектом геометрического моделирования.

Построение математической модели. Начальным шагом по созданию математической модели геометрического объекта

(профиль или поверхность) в рамках задачи интерполяции является его оцифровывание, т. е. снятие данных (координат точек) на различных его сечениях. Оцифровывание объекта контроля проводится с помощью специального контрольно-измерительного оборудования, координатно-измерительных машин, лазерного устройства. Процесс «снятия данных», как правило, упорядочен. Для построения качественной математической геометрической модели объекта данные оцифровываются по сечениям в определенном порядке. Для решения этой задачи была разработана специальная установка с лазерным указателем точки измеряемых координат.

Результатом измерений реальной поверхности или профиля является набор измеренных точек, точнее, их координаты $\{x_i, y_i, z_i\}$, где $i=1, \dots, n$ — набор точек или узлы интерполяции. При этом порядок соответствует порядку обхода по измеряемому контуру. Теперь для последующей работы с объектом моделирования необходимо дать математическую интерпретацию измеренным значениям и получить зависимость вида: $F(x, y, z) = 0$ — для трехмерного случая, $F(x, y) = 0$ — для двухмерного случая.

На основе материала, приведенного в предыдущей главе, было выбран принцип геометрического моделирования с помощью сплайн-интерполяции. Методика с использованием сплайн-интерполяции предусматривает моделирование с расширенной измерительной информацией с целью лучшего приближения к реальной его форме, существенно улучшает достоверность и надежность проводимого контроля. Переход от классических интерполяционных многочленов к сплайнам существенно повышает также качество приближения. Проблемы программной реализации метода заключается в подборе соответствующей компьютерной системы проектирования, в которой используется интерполяция с помощью сплайн-функций.

3.3.2 Программная реализация метода формирования моделей

При разработке трехмерных моделей фанерных сортиментов использовались технологии сборочного чертежа. Трехмерная сборка в *T-FLEX CAD* является полностью параметрической: она состоит

из отдельных параметрических деталей, связанных между собой. Это означает, что при изменении размера или положения какой-либо детали другие будут автоматически скорректированы. Проектирование может осуществляться как от детали к сборке, так и наоборот — от сборки к детали. Для каждой детали сборочной конструкции можно задать перемещение, которое будет учитываться при выводе сборки в разобранном виде. Эти свойства программы были использованы для рассмотрения отдельных этапов лущения шпона. При решении задачи использовались обычные переменные и функции.

Для выбора средств параметризации по инструментам организации управления параметрами, которые поддерживает *T-FLEX CAD 3D*, анализировались возможности данного программного продукта в соответствии с рисунком 3.18.

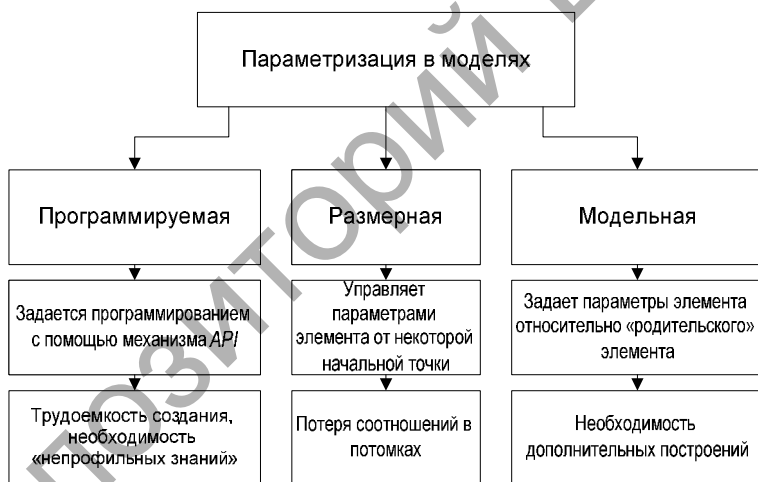


Рисунок 3.18 — Анализ средств параметризации программного обеспечения

По уровню доступа к управлению параметрами модели могут быть доступны следующие параметры:

- абсолютные;
- в виде переменных;
- заданные отношением к другим параметрам;

- заданные функцией;
- заданные базой данных;
- заданные графиком;
- заданные по измеренным значениям;
- динамически изменяемые (анимация).

Благодаря модулю оптимизации модели, при исследованиях геометрических параметров фанерных сортиментов, базирования и измерения кривизны в *T-FLEX CAD* определяются параметры тел заданного объема, характеристик, равновесия, балансировки и т. п.

Операция выталкивания позволяет получить трехмерное тело поступательным перемещением контура вдоль указанного направления. Направление определяется вектором выталкивания или значением расстояния перемещения контура. Во втором случае направление определяет нормаль к поверхности, которой принадлежит исходный контур. Таким образом, можно придать толщину любой грани, в том числе и не плоской. Выталкивание контура также может производиться от грани до грани, от поверхности до поверхности, через весь объем выбранного тела. Эта операция была использована для построения модели и определения объема форматного шпона.

Операция вращения позволяет получить трехмерное тело вращением контура вокруг заданной оси на заданный угол. Плоскость профиля может располагаться произвольным образом относительно оси. Профиль не должен пересекать ось вращения. Ось вращения задается:

- одной или двумя точками;
- одним из ребер профиля;
- штрихпунктирной линией, принадлежащей рабочей плоскости.

Угол вращения задается двумя *3D*-узлами или вводом его значения в параметры команды.

Операция построения по нескольким сечениям предназначена для создания трехмерной модели, путем формирования линейчатой или сплайновой поверхности, проходящей через несколько *3D*-профилей [121]. В результате создается тело, поверхность которого образуется при последовательном переходе элементов одного контура в элементы другого. Для более точного определения геометрии существует возможность задавать последовательности точек соответствия по *2D* или *3D*-узлам на профилях. Также можно задавать условия касания или перпендикулярности к поверхности

крайних профилей либо примыкающего тела. Эта операция была использована при построении объемной модели сортиментов, которые имеют, как правило, сложную структуру (рис. 3.19; 3.20).



Рисунок 3.19 — Элементы построения модели фанерного сортимента сложной геометрической формы

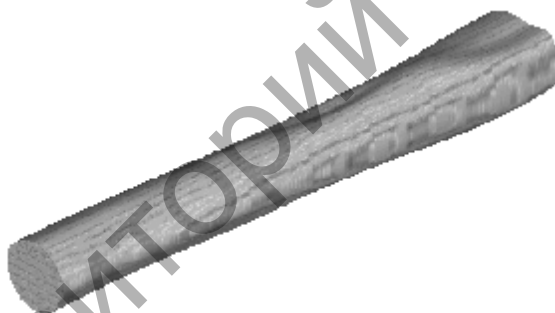
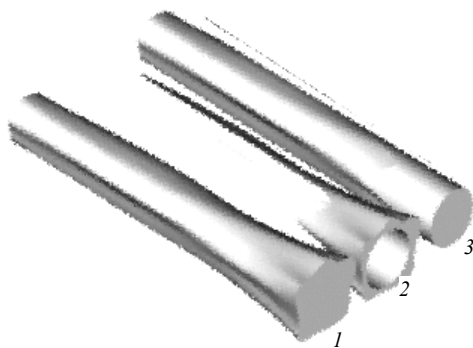


Рисунок 3.20 — Твёрдотельная модель фанерного сортимента на основе поперечных сечений

Для работы с несколькими элементами использовались различные операции, позволяющие из твердых тел получать новые тела с помощью действий сложения, вычитания и пересечения. Опция сложения позволяет объединить твердые тела в одно, опция вычитания — удалить из объема одного тела объем, занимаемый другими телами, а пересечения — получить тело, которое является пересечением твердых тел. При анализе объемов и их соотношений были использованы эти функции (рис. 3.21).



1 — чурак; 2 — зона шпона «рванины»; 3 — зона оцилиндровки

Рисунок 3.21 — Метод построения
характерных зон чурака при лущении
(модели зон лущения чурака)

Показанные на рисунке фрагменты моделей сформированы при помощи булевых операций. Наглядным примером операции вычитания является построение отдельных элементов изображения — зон шпона-рванины и оцилиндровки. Кроме графического построения в системе предусмотрено также вычисление объемных характеристик, что позволит детально изучить соотношение между формой сортимента и потерями древесины.

На начальном этапе проектирования модели были сформированы по четырем параметрам: длина сортимента, минимальный диаметр сортимента, максимальный диаметр сортимента, размер стрелы прогиба (если имела место кривизна ствола). Сформированные таким образом модели приближенно описывали вид и внешние признаки сортимента. При расчете объемных параметров этого было вполне достаточно. Форма таких моделей была похожа на форму измеренных сортиментов, но для отдельных расчетов такой точности было недостаточно.

Для проверки работоспособности устройства и разработки методики построения моделей были проведены ее опытно-производственные испытания. С помощью описанной выше установки, были проведены измерения нескольких партий фанерных сортиментов. Результаты измерений явились основой специальной

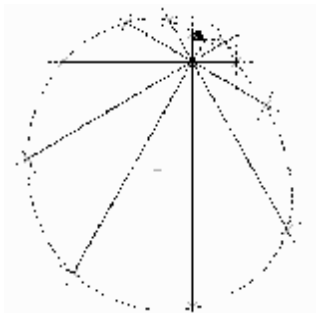


Рисунок 3.22 — Замкнутая сплайновая линия, построенная по координатам

базы данных, которая была обработана с помощью ЭВМ. Были созданы переменные, на основе которых рассчитывались все последующие модели. Каждый профиль сечения сортимента создавался при помощи двенадцати узлов, которые формируют замкнутый сплайн (рис. 3.22).

Трехмерная модель может быть построена с помощью нескольких сечений. Для метода, который был использован при построении моделей, применялось восемь сечений [48—50]. Количество сечений может быть значительно больше, при этом возрастает точность расчетов. Но небольшое увеличение точности приводит к значительным потерям времени при оптимизации. С экономической точки зрения это не всегда оправдано.

После производственной проверки установки был проведен ряд измерений, которые послужили основой моделей сортиментов. В этих моделях, в отличие от рассмотренных выше, объемы рассчитывались с учетом измеренных параметров. Процесс измерения параметров в этом случае значительно сложнее. По этой причине было проведено несколько измерений с небольшим количеством сортиментов. Результаты статистического оценивания показали явное улучшение статистических параметров выборки и основных оценочных показателей при использовании компьютерных методов оптимизации.

Коэффициент K определяет отношение коэффициентов объемного выхода форматного шпона при оптимизации базирования.

По показателям выборки для значений компьютерной оптимизации сформировано распределение K , статистические показатели которого $\bar{x}_B = 0,459$; медиана $M = 0,444$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_B = 0,122$.

На основе анализа приведенных стандартных методов, входящих в состав *CAD* системы, разработан метод формирования трехмерной базовой модели сортимента [49—52], учитывающий геометрические особенности и отклонения формы. В связи с этим

была разработана трехмерная базовая модель сортамента с высокой точностью, отображающая его геометрические особенности. Структура модели показана на рисунке 3.23.

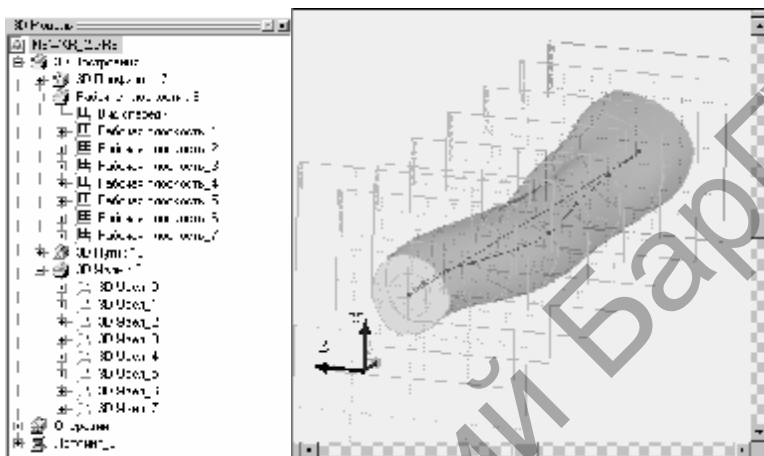


Рисунок 3.23 — Структура трехмерной базовой параметрической модели

Модель сформирована на основе восьми поперечных сечений, построенных на рабочих плоскостях. Каждое сечение построено с помощью сплайн-функции с двенадцатью узловыми точками. Кривизна сортамента определяется положением трехмерных узлов условных центров сечений.

3.3.3 Измерение полезной зоны круглых лесоматериалов для получения готовой продукции

Рациональное использование сырья в фанерной промышленности — одна из актуальных задач отрасли. Для успешного решения этой задачи немаловажное значение имеет измерение, учет и нормирование пороков древесины в фанерном сырье.

При лущении шпона производится определение оптимальной зоны обработки в зависимости от формы и диаметров сортиментов.

При различной степени кривизны сечения сортимента смещены относительно определенной линии.

Решение задачи нахождения максимальной площади круга производится с помощью встроенного модуля оптимизации компьютерной системы (рис. 3.24). Рассматривая каждое сечение по отдельности, можно определить зону максимального использования, которая равна площади вписанной окружности. Сложность задачи заключается в том, что сечения сортиментов имеют обычно неправильную форму.

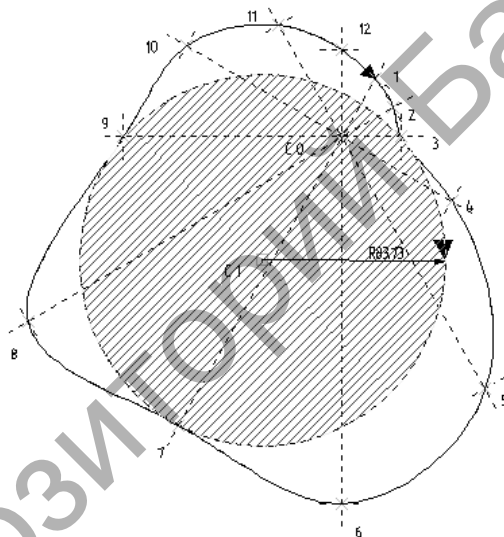


Рисунок 3.24 — Положение вписанного в сплайн круга после оптимального поиска

Форма сечения моделируется сплайновой замкнутой кривой, построенной по характерным точкам (узлам). Решение задачи нахождения максимальной площади круга производится методом оптимизации. На рисунке 3.24 точками 1...12 обозначены узлы замкнутого сплайна, координаты которых были измерены с помощью опытной установки и введены вручную. Точка C_0 является

условным центром измерительного приспособления, точка C_1 — центр вписанной окружности, полученный в результате оптимизации параметров.

Для работы с параметрами моделей, на основе встроенных команд, были составлены управляющие макросы. В процессе оптимизации программным способом определялось максимальное расстояние от точки условного центра до криволинейной сплайновой кривой. Необходимые параметры оптимизации задаются в диалоговом режиме, или могут быть установлены по «умолчанию».

В рассмотренных компьютерных моделях количество сечений ограничено. Каждое из них имеет индивидуальные особенности, связанные с образующей поверхностью (рис. 3.25).

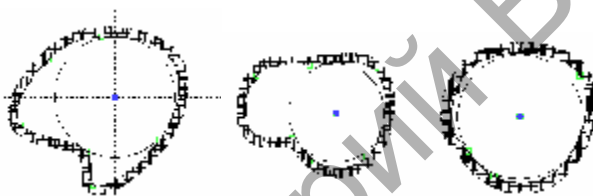


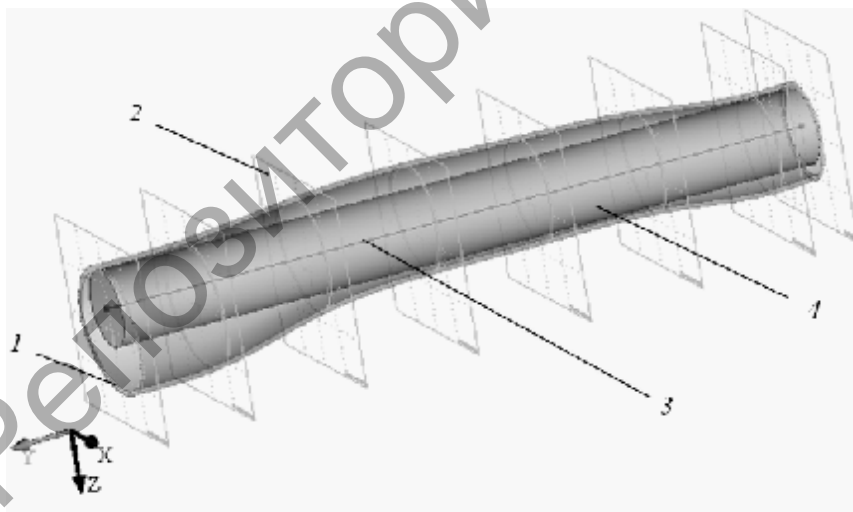
Рисунок 3.25 — Различные формы сечений и положение точки условного центра

Количество сечений определяет количество точек в пространстве. Если их соединить отрезками, то получится ломаная линия, которая является функцией кривизны ствола.

3.3.4 Методы измерения кривизны сортиментов

Измерение кривизны сортимента с помощью 3D-моделей. Для измерения кривизны были использованы модели, созданные на основе размерных характеристик партии сортиментов. В отличие от традиционных методов, метод компьютерного моделирования позволил произвести точное измерение кривизны (в том числе и сложной) с учетом индивидуальных особенностей сырья. Модель сортимента анализировалась в трех измерениях, при этом возможности компь-

ютерной системы позволили учитывать не только форму ствола, но и толщину коры. Разработанный способ позволит определить точное значение отклонения формы, а также степень пригодности сырья для различных видов обработки. Например, при лущении шпона — кривизна определяет положение экономической оси; при радном пилении — оптимальную ориентацию бревна. Средний вес сортимента может изменяться в пределах 50...100 кг. Для того, чтобы произвести измерения ручным инструментом, требуется большое количество времени и усилий. В современном производстве уже используется целый ряд специальных устройств (сканеров), которые позволяют измерять координаты точек поверхности. Одно из таких устройств разработано в Белорусском государственном техническом университете [49—52]. Массивы данных, полученные с помощью таких устройств, используются для формирования моделей. После чего, с помощью специальных программных модулей, производится измерение характеристик сортиментов (рис. 3.26). Особенности способа заключаются в том, что имеется



1 — центр сечения; 2 — прямая; 3 — секущая плоскость;
4 — профиль сечения; 5 — криволинейная ось

Рисунок 3.26 — Модель сортимента, построенная на основе восьми сечений

возможность нахождения максимального расстояния (стрелы прогиба) при циклическом обходе периметра сечения.

Особенности способа заключаются в том, что имеется возможность нахождения максимального расстояния (стрелы прогиба) при циклическом обходе периметра сечения. Для поиска оптимального решения был использован метод последовательных приближений. Повышение точности измерений позволит более тщательно сортировать сырье перед обработкой, а значит избежать непредвиденных потерь деловой древесины. В таблице 3.1 приведены выборочные данные, характеризующие соотношение объемного выхода шпона и значение кривизны сортимента.

Параметры сортиментов в значительной степени зависят от степени кривизны. С целью установления взаимосвязи между этими значениями определялся коэффициент взаимосвязи. Влияние кривизны на объемный выход шпона определяется коэффициентом регрессии r . Характерными для выборки, являются следующие признаки:

- влияние кривизны на выход форматного шпона: $r_1 = -0,904$;
- влияние кривизны на оптимизированный выход форматного шпона: $r_2 = -0,727$;
- влияние кривизны на увеличение выхода (оптимизация): $r_3 = 0,95$.

В таблице 3.1 рассматриваются результаты базирования на основе компьютерных моделей. Исходя из расчетов, все коэффициенты

Т а б л и ц а 3.1 — Изменение объемного выхода форматного шпона в зависимости от кривизны сортимента

Диаметр сортимента, D_c , см	Кривизна сортимента, %	Объем сортимента V_c , м ³	Объем форматного шпона, м ³		Коэффициент выхода форматного шпона		Увеличение коэффициента выхода K , %
			фактический	по моделям	фактический	по моделям	
17,7	0,63	0,0401	0,0209	0,0227	52,1101	56,7296	4,62
18,8	2,21	0,0422	0,0146	0,0221	34,6392	52,2574	17,62
19,3	2,61	0,0485	0,0104	0,0191	21,5418	39,4520	17,91
19,6	2,37	0,0509	0,0167	0,0267	32,8199	52,5326	19,71
20,3	1,34	0,0542	0,0302	0,0335	55,6877	61,7525	6,06

характеризуют устойчивую линейную связь, т. е. при наличии инструментальных средств и методов создается возможность реально повысить объемный выход шпона.

Для более углубленного анализа проведены измерения параметров и моделирование другой партии сортиментов, имеющих характерные пороки. Результаты измерений представлены в таблице 3.2.

Влияние кривизны на объемный выход шпона определяется коэффициентом корреляции r . Характерным для выборки являются следующие признаки:

- влияние кривизны на выход форматного шпона: $r_1 = -0,63$;
- влияние кривизны на оптимизированный выход форматного шпона: $r_2 = -0,426$;
- влияние кривизны на увеличение выхода (оптимизация): $r_3 = 0,910$.

Т а б л и ц а 3.2 — Влияние кривизны на объемный выход шпона

Диаметр, см	Объем сортимента, м ³	Объем форматного шпона (PK Raute)		Объем форматного шпона (оптимизация базирования)		Увеличение объемного выхода K_2 , %
		K , м ³	K_1 , %	K , м ³	K_1 , %	
18,8	0,042	0,017	39,6	0,019	45,3	5,7
19,6	0,051	0,014	26,9	0,027	52,5	25,5
17,7	0,040	0,015	36,4	0,023	56,6	20,2
20,3	0,054	0,030	55,7	0,034	61,8	6,1
16,5	0,037	0,011	29,8	0,014	38,5	8,7
18,2	0,057	0,013	22,4	0,019	34,2	11,8
18,4	0,055	0,020	37,2	0,024	43,5	6,2
18,9	0,070	0,022	31,3	0,027	39,4	8,0
19,2	0,051	0,029	55,8	0,031	61,3	5,5
20,8	0,073	0,031	42,8	0,037	50,4	7,6

Примечание. K — коэффициент выхода форматного шпона; K_1 — коэффициент выхода форматного шпона (оптимизация); K_2 — увеличение выхода форматного шпона (за счет оптимизации).

3.3.5 Исследование моделей сортиментов, сформированных с учетом толщины коры

При обмере сортиментов, которые используются для производства лущеного шпона, в соответствии с действующими стандартами [7], необходимо учитывать толщину коры. Так, при измерении координат поверхности сортимента, толщина и объем коры могут определяться по эмпирическим формулам.

Работы ряда авторов [20; 36] по определению наиболее целесообразных формул объема бревен показали, что, при замере среднего диаметра автоматическими устройствами, некоторые формулы табличных значений объема могут быть получены на основании установленных закономерностей строения древесного ствола, для практической реализации которых не требуется поправочный коэффициент [20; 36]. Установлено, что толщина коры h_k находится в линейной зависимости от диаметра сортимента D_c (береза) и выражается формулой

$$h_k = 0,0235 D_c + 0,1.$$

Так как

$$D = D_c - 2 h_k,$$

то толщина коры исчисляется по формуле

$$h_k = 0,0225 D_c + 0,095.$$

Программное обеспечение позволяет не только рассчитать значение, но и построить твердотельную модель «оболочки сортимента». Для этой цели использовалась встроенная операция системы моделирования *T-FLEX CAD*.

Офсетные кривые (эквидистанты) создаются на базе уже существующих кривых (сплайнов, эллипсов, функций) и их внешний вид определяется видом кривой и величиной смещения, которая может быть задана с помощью переменной. Для профиля сортимента эквидистанта, формирующая слой коры, выглядит как на рисунке 3.27.

Результаты статистической обработки параметров фанерных сортиментов, измеренных с учетом коры, при выполнении компьютерной оптимизации моделей, следующие: $\bar{x}_b = 42,08$; медиана $M = 41,15$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_b = 9,79$. Для фактического

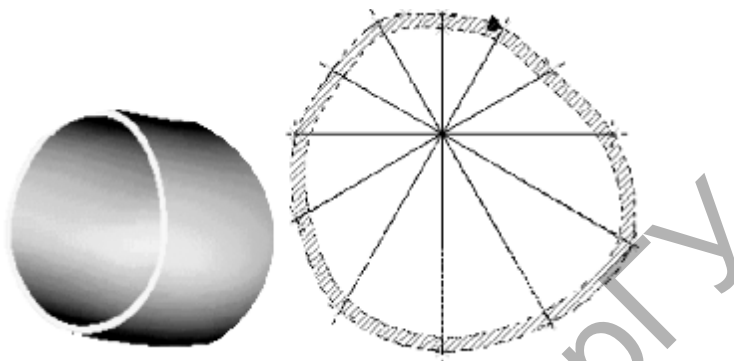


Рисунок 3.27 — Эквидистанта, определяющая толщину коры на плоскости и в пространстве

распределения $\bar{x}_B = 19,96$; медиана $M = 17,55$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_B = 9,12$. Приведенные гистограммы распределения показывают взаимосвязь параметров сортиментов, вычисленных с учетом коры (рис. 3.28, 3.29). По показателям выборки,

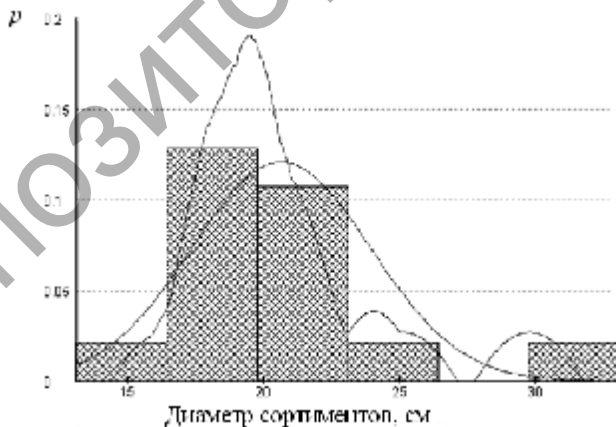


Рисунок 3.28 — Гистограмма, характеризующая распределение диаметров сортиментов в выборке

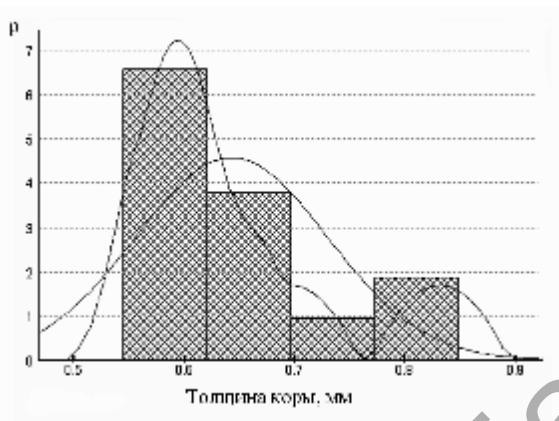


Рисунок 3.29 — Распределение толщины коры для выборки сортиментов

для значений распределения толщины коры $\bar{x}_b = 0,643$; медиана $M = 0,6120$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_b = 0,0906$. Для распределения диаметров сортиментов $\bar{x}_b = 24,35$; медиана $M = 23$; среднее квадратичное отклонение $\sigma_b = 4,030$.

Проведенные экспериментальные исследования показывают высокую точность измерения параметров и возможность изменения параметров моделей в широких пределах, что дает возможность рассматривать сырье различных размеров и формы. Учитывая, что для определения базисной оси сортимента необходима высокая достоверность измерений (до 1...2 мм), разработанные многопараметрические модели могут послужить основой для способов измерения качественных показателей сырья (а именно — кривизны) и базирования на основе координат поверхности сортимента.

Глава 4

ПРЕЦИЗИОННОЕ БАЗИРОВАНИЕ СОРТИМЕНТОВ — ОСНОВА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАНЕРНОГО СЫРЬЯ

Механические базирующие устройства, функционирующие на предприятиях, не позволяют учесть геометрические параметры фанерных сортиментов и некоторые виды пороков формы ствола.

Применение таких устройств приводит к снижению объемного выхода продукции (шпона). В основу принципа действия центровочно-загрузочных устройств входит координатная ориентация сортимента, обычно по нескольким сечениям. Для учета сложной формы сортиментов необходимо учитывать десятки и сотни поперечных сечений. Возникающая потребность в создании электронных базирующих комплексов объясняется необходимостью повышения эксплуатационных свойств оборудования и максимального использования сырья.

4.1 Структурные зоны переработки фанерных сортиментов и их изменения, связанные с точностью базирования

Погрешности формы сортимента и неизбежные ошибки установки его между шпинделями лущильного станка не позволяют переработать всю содержащуюся в сортименте древесину в пригодный для использования шпон. По той же причине возникают трудности при определении объемного выхода форматного и кускового шпона из сортимента. На рисунке 4.1 показаны четыре зоны поперечного сечения сортимента [59]:

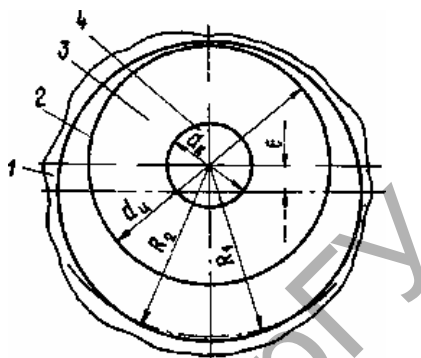
- а) зона 1 (является следствием неправильной формы сортимента: искривление его оси, сбежистость, искажение формы сечения);
- б) зона 2 (возникает в результате неправильной установки сортимента между шпинделями станка);
- в) зона 3 (содержит форматный шпон);

г) зона 4 (представляет собой остаток древесины после лущения сортиментов) [11—13].

Процесс резания сортимента начинается с его выступающих частей. По мере оцилиндровки сортимент получает более правильную цилиндрическую форму. В начале лущения, когда нож станка срезает древесину, заключенную в зоне 1, форма кусков шпона неопределенна. Длина кусков ограничена длиной сортимента, и по ширине они меньше длины окружности цилиндра, вписанного в верхний торец сортимента. Зону 1 называют зоной рванины, а получаемый из нее материал — *шпоном-рваниной*. Объем этой зоны объединяет кусковой шпон (короткие куски) и кору (см. рис. 4.1).

В момент, когда радиус окружности резания станет равным радиусу сортимента, с его поверхности будут срезаться куски, длина которых равна его длине, а ширина — меньше длины окружности вписанного цилиндра. Рассматриваемую зону 2 называют зоной *длинных кусков*. Размер ее в основном зависит от точности установки сортимента в станке, тщательным выполнением которой можно добиться почти полной ликвидации этой зоны и превращения длинных кусков в *форматный шпон* [59].

При дальнейшем лущении сортимента наступает момент, когда ширина снимаемых с его поверхности кусков становится равной окружности вписанного цилиндра, благодаря чему со станка начинает сходить непрерывная лента шпона. Зону 3 называют зоной *форматного шпона*. Она будет продолжаться до момента подхода ножа к самой малой окружности, ограничивающей часть древесины, остающуюся после лущения. Эта часть является зоной *карандаша*. Размер ее зависит, главным образом, от диаметра сортимента и толщины изготавливаемого шпона. Чем больше диаметр сортимента, тем больше должны быть зажимные кулачки, а следовательно,



1 — зона рванины; 2 — зона длинных кусков; 3 — зона форматного шпона; 4 — зона «карандаша»

Рисунок 4.1 — Зоны поперечного сечения сортимента

и сама зона. Это предохраняет сортимент во время лущения от проворачивания по отношению к шпинделям станка.

Чем больше диаметр остающегося карандаша, тем толще изготавливаемый из сортимента шпон. Если станок имеет механизм, предотвращающий изгиб сортимента по мере уменьшения его диаметра, то длина сортимента не влияет на диаметр остающегося карандаша. При отсутствии такого механизма диаметр карандаша будет увеличиваться с увеличением длины сортимента. Практически, карандаши имеют следующие диаметры: для легких станков — 50...60 мм; для средних — 70...100 мм; для тяжелых — до 220 мм.

Рассмотренные зоны неравноценны в количественном и качественном отношении. Объем древесины, заключенной в каждой из перечисленных зон, зависит от диаметра и длины сортимента, породы древесины, сорта сырья и др. Так, для березовых сортиментов диаметром 210...220 мм, которые лущат на станках с телескопическими шпинделями и механизмами для предотвращения изгиба карандаша, объем каждой зоны ориентировочно составляет: 20...23% зоны рванины; 4...5% длинных кусков; 60...63% форматного шпона; 11...13% карандаша. По мере увеличения диаметра сортиментов возрастает удельный вес зон 2 и 3.

До настоящего времени объем было сложно определить путем измерения геометрической формы сортимента, так как она очень неопределенна. Поэтому для определения объема шпона, получаемого из сортимента, пользовались различными эмпирическими формулами. Развитие современных средств измерения и компьютерных технологий позволяют с высокой степенью точности определить характеристику сортиментов и соотношение объемов различных зон.

4.2 Способы механического и электронного базирования сортиментов и их реализация

Способы механического базирования сортиментов. Точность выбора положения оси вращения сортиментов оказывает существенное влияние на количество получаемого из него делового шпона. Если ось вращения сортимента совпадает с осью вписанного цилиндра,

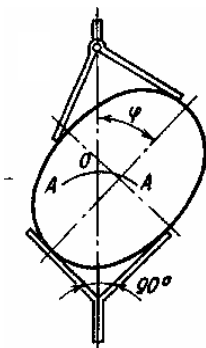


Рисунок 4.4 —
Схематическое
изображение
способа базирования
сортиментов по
четырем точкам

Для несимметричных сечений этот способ будет давать определенную погрешность, ведущую к частичному уменьшению количества форматного шпона при некотором увеличении количества кускового шпона.

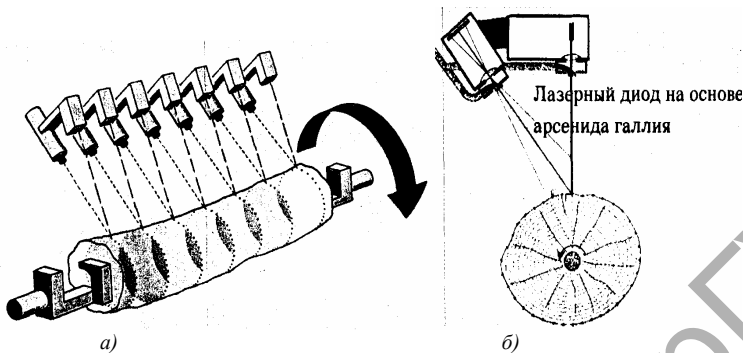
В настоящее время применяется еще один способ (рис. 4.4), основанный на базировании сечения сортимента между двумя жесткими вилками, «пальцы» которых расположены под углом 90° друг к другу. Нижняя вилка жестко соединена с вертикальным стержнем, а верхняя — шарнирно.

Анализ показывает, что такой способ базирования не может дать во всех случаях хороших результатов, даже при симметричных сечениях (за исключением круга). Объясняется это тем, что положение центра сечения зависит от угла наклона большой его оси: чем больше этот угол, тем дальше может отходить центр сечения от оси вращения шпинделей O . Дуга AA' изображает возможное геометрическое место центров сечений при различных положениях сортиментов на нижней вилке. Процесс лущения сортиментов органически связан с количеством получающейся продукции, т. е. сырого шпона. Количество сырого шпона при лущении сортимента колеблется в зависимости от ряда факторов.

Финская фирма *Raute* на протяжении многих лет эксплуатирует оборудование, работа которого основана на электронном способе центрирования. Метод стал доступным после появления чувствительных оптических и ультразвуковых преобразователей (рис. 4.5).

Суть метода заключается в следующем: в начале производится предварительное базирование сортимента с помощью специальных ультразвуковых датчиков; затем сортимент закрепляется в шпинделях станка и центрируется при одновременном вращении с помощью сервоцилиндров.

Вращение сортимента во время базирования создает дополнительные динамические нагрузки на элементы станка и приводит к дополнительному расходу электроэнергии, это не всегда удобно при организации производства. Кроме этого, при эксплуатации таких устройств возникает зависимость точности измерений от частоты



а — принцип измерения координат; б — электронная реализация способа

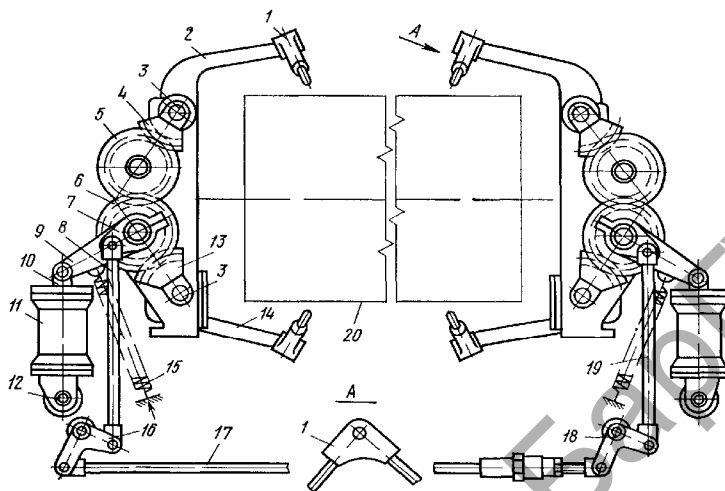
Рисунок 4.5 — Способ базирования сортиментов с помощью лазерных сканеров

вращения сортимента. Приведенные ограничения метода позволяют определить основные направления исследований с целью создания новых более совершенных устройств для базирования сортиментов, учитывающих их геометрические характеристики и толщину коры.

Центровочно-загрузочные устройства (ЦЗУ) на основе механических способов базирования. Самая многочисленная группа устройств для центрирования сортимента имеет механический принцип работы. Наряду с простотой и надежностью такие устройства имеют ряд недостатков.

На лущильных станках ЛУ17-4 установлено центрирующее приспособление системы В. П. Банко, Н. А. Жукова и А. А. Порохина.

Благодаря этому приспособлению появилась возможность одновременно центрировать сортимент и подавать его к шпинделям лущильного станка (рис. 4.6). Центровка сортимента осуществляется по четырем точкам, лежащим на сторонах прямоугольника. Для уменьшения влияния кривизны захваты располагают на расстоянии $0,15L$ сортимента. Благодаря подвижным верхним рычагам захватов улучшается центрирование сортиментов, имеющих отклонения от правильной формы сечения. Однако более точное центрирование сортимента (эллипс) осуществляется, если одна из осей симметрии расположена вертикально [59].



1 — захват; 2 — верхний рычаг захвата; 3 — ось рычага; 4, 13 — зубчатые секторы; 5, 6 — зубчатые колеса; 7, 9, 16, 18 — рычаги; 8, 17, 19 — штанги; 10 — шток; 11 — пневмоцилиндр; 12 — ось крепления пневмоцилиндра; 14 — рычаг нижнего захвата; 15 — возвратная пружина; 20 — сортимент

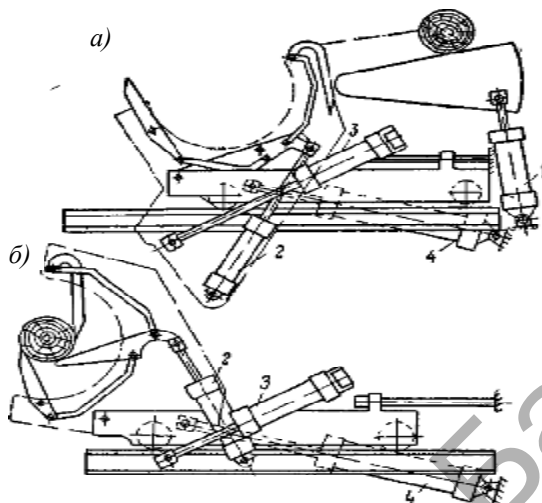
Рисунок 4.6 — Центрирующее приспособление станка ЛУ17

Сортименты, имеющие пороки в нескольких местах, чаще всего не влияют на подлинное положение оптимальной оси. Так как на современных предприятиях в состав сырья входит большое количество сортиментов, имеющих пороки формы ствола, применение таких устройств приводит к потерям древесины и дополнительному расходу электроэнергии при обработке.

Влияние сбега на правильность центровки устраняют при независимом зажиме каждого конца сортимента центрирующими захватами.

К устройствам с принципом центрирования по трем точкам относятся ЦЗУ модели РК финской фирмы *Raute*, в которых центровка сортимента выполняется при помощи шести зажимных пластин, расположенных в двух «щеках» по три пластины в каждой (рис. 4.7).

Такое устройство удовлетворительно работает при использовании высокосортного сырья. При базировании сортиментов с пороками формы ствола имеет место значительная погрешность, которая приводит к потерям древесины. При многократном воздействии



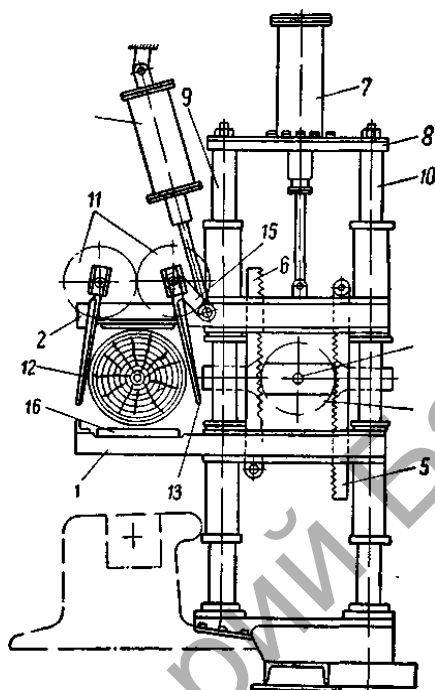
1, 2, 3, 4 — гидроцилиндры

Рисунок 4.7 — ЦЗУ модели РК финской фирмы Raute

зажимных пластин на древесину, за счет абразивного действия пыли и микрочастиц, находящихся в коре, происходит их изнашивание. Это вызывает появление погрешностей, влияющих на качество центрирования сортиментов.

Высоким быстродействием обладает другое устройство, использующее принцип центрирования по четырем точкам, лежащим на сторонах прямоугольника или равнобокой трапеции, — это устройство системы Н. В. Ковязина (рис. 4.8).

В устройстве, приведенном на схеме, для базирования сортимента используются специальные рычаги, имеющие вертикальное и горизонтальное перемещение. Они приводятся в действие с помощью четырех гидроцилиндров. Устройство имеет достаточно простую конструкцию, но применение нескольких цилиндров и механической реечно-шестеренчатой передачи осложняет управление. Правильность центрирования определяется положением оптимальной оси сортимента. Операция базирования наиболее точно может выполняться для сортиментов, имеющих сечения в виде круга или эллипса. Несмотря на отдельные недостатки, такие модели использовались совместно со станками фирмы «Роллер».



1, 2 — горизонтальные зажимные ланки;
 5—11 — элементы механизма базирования;
 12, 13 — вертикальные зажимные планки

Рисунок 4.8 — Схема центровочно-загрузочного приспособления системы Черниковского завода (Н. В. Кавязина)

Еще одной из моделей механического ЦЗУ является устройство системы Штамма. Наряду с другими устройствами в нем применялся принцип центрирования по четырем точкам, находящимся на сторонах прямоугольника или равнобокой трапеции. Такие устройства устанавливались на некоторых моделях станков завода «Пролетарская свобода». Основным достоинством такого оборудования являлось достаточно точное центрирование сортиментов, у которых в зоне фиксации сечение имело вид круга или овала. При центрировании сортиментов, имеющих пороки формы (наросты, ребристая закомелистость и др.), возникали значительные неточности. Применение системы «винт-гайка» для перемещения фиксирующих

упоров создавало неудобства и дополнительные затраты времени для выполнения операции базирования, но это не помешало использовать данный вид оборудования в комплекте с некоторыми станками. Современные базирующие устройства, которые выпускаются в России, в значительной степени модернизированы, по сравнению с рассмотренными выше (рис. 4.9).

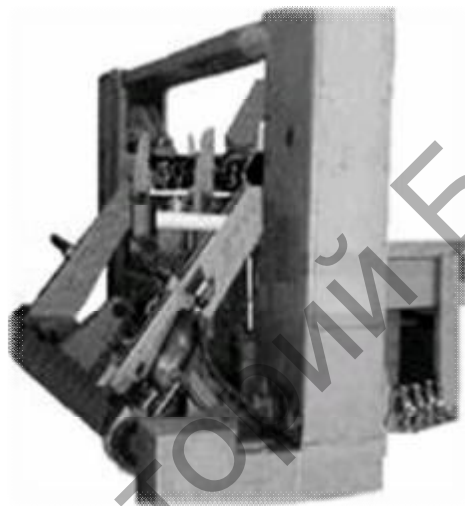


Рисунок 4.9 — ЦЗУ 17-10, выпускаемое заводом «Пролетарская Свобода»

В каждом из них предусмотрена полная автоматизация процессов управления, используются новые виды высокоскоростных исполнительных устройств, применяются бесконтактные датчики положения и целый ряд других преимуществ. Аналогичные устройства с электронным и механическим управлением выпускают фирмы *KELLER*, *HOLTEC* (Германия). Однако работа устройств, как правило, происходит при использовании классических, рассмотренных ранее, способов базирования. Примером такого устройства является ЦЗУ, выпускаемое заводом «Пролетарская Свобода» (г. Ярославль). Кроме этого устройства выпускаются также и аналогичные, но с другими характеристиками (табл. 4.1).

Т а б л и ц а 4.1 — Краткие технические характеристики ЦЗУ

Модель	Технические характеристики					
	Длина центрируемого сортифта, мм	Диаметр центрируемого сортифта, мм	Скорость цепей конвейера, м / с	Размеры установки (Д × Ш × В)	Масса установки, кг	Удельный расход энергии, кВт·ч / мм
ЦЗУ 14-10	1 250...1 350	160...700	0,2	3 520 × 2 640 × 1 922	3 840	0,0024
ЦЗУ 17-10	1 550...1 650			3 820 × 2 640 × 1 922	4 040	
ЦЗУ 14-17	1 250...1 650					

Анализируя характеристики устройств, можно отметить их значительную металлоемкость и размеры. Самым существенным недостатком рассмотренных механических устройств является невысокая точность базирования, вызванная несовершенством геометрических методов, используемых для определения положения оси вращения сортифта.

Базирующие устройства с лазерным сканирующим измерителем. Устройство *Raute PCL* применяется на фанерных предприятиях европейских стран. В соответствии с маркировкой такие устройства ориентированы на выполнение следующих операций: оптимизация параметров с помощью компьютерной системы, измерение параметров с помощью лазерного сканирующего устройства, применение передаточных рычагов для перемещения сортифта в зону обработки. Лазерные сканеры, применяемые в устройствах, могут быть двух типов: стационарные и подвижные.

Стационарные лазерные сканеры позволяют определять координаты каждой точки радиуса сортифта. При сканировании с интервалом $0,022^\circ$, формируется до 160 000 точек замеров по линии окружности (рис. 4.10). При вращении сортифта производится замер его радиусов со скоростью 16 000 точек в секунду или с интервалом $0,022^\circ$. В зависимости от длины сортифта применяется от 3 до 7 лазерных сканеров, т. е. 48 000...112 000 точек замеров на один сортимент. На основе этих данных для окончательного расчета отфильтровывается 36 точек поперечного сечения за три ступени. При этом отфильтровывается эффект нечетных величин, полученных под влиянием остатков коры, сучьев, трещин и щелей.

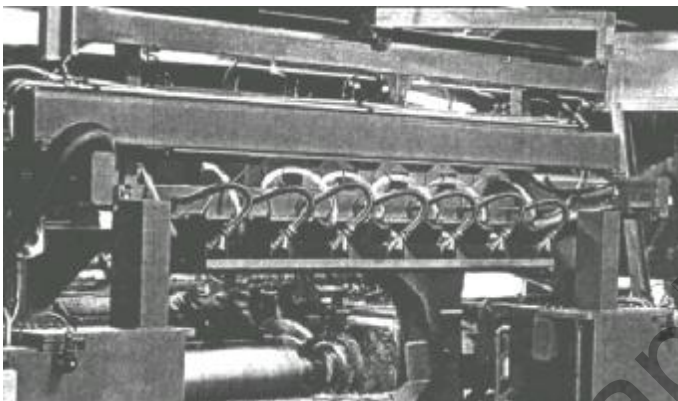


Рисунок 4.10 — Стационарный мультисканер
(7 лазерных измерителей)

Для окончательного расчета используется от 108 до 252 точек. Подвижный сканер обеспечивает точное центрирование сортиментов для нескольких лущильных линий. При перемещении лазерного сканера исполнительное устройство совершает от 5 до 10 оборотов, при этом производится замер радиусов со скоростью 16 000 точек в секунду при интервале $0,022^\circ$. В зависимости от длины сортимента, выполняется от 5 до 10 оборотов исполнительного двигателя, что позволяет определить расстояние до поверхности сортимента (рис. 4.11).

На основе этих данных, для окончательного расчета, отфильтровывается 50 точек поперечного сечения за три ступени. При этом учитывается эффект нечетных величин от остатков коры, веток, трещин и щелей. Для окончательного расчета используется от 250 до 500 точек.

На точность сканирования не влияют влажность, температура и различия цветовой окраски древесины, а также внешние факторы, такие как источник света или шумы (энергия лазера регулируется автоматически в соответствии с цветовым оттенком сортимента). Это обеспечивает замеры реального профиля сортимента, а не только его очертаний. Плата сопряжения лазера действует автономно и исключает влияние таких факторов, как мелкие щели и пустоты. Данные замеров в 36 или 50 точках поперечного сечения фильтруются в три этапа для окончательного расчета.

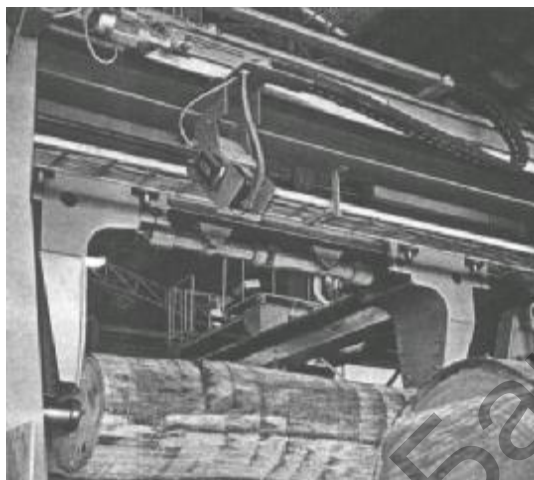


Рисунок 4.11 — Универсальный подвижный сканер

Компьютерная система определяет координаты максимального цилиндра, вписанного в сортимент, при высоком быстродействии системы. Высокая эффективность таких устройств отражена в технических данных (табл. 4.2).

Положение осей оптимального цилиндра, вписываемого в сортимент, и положение самого сортимента корректируется с помощью сервоцилиндров, управляемых компьютером. Корректировочные

Т а б л и ц а 4.2 — Краткие технические данные ЦЗУ моделей *PCL*

Параметр	Тип устройства		
	<i>PCL</i> 600 × 1 400	<i>PCL</i> 600 × 1 400	<i>PCL</i> 600 × 1 400
Диаметр сортимента (минимальный), мм	160	160	160
Диаметр сортимента (максимальный), мм	600	600	600
Длина сортимента (минимальный), мм	990	1 270	1 570
Длина сортимента (максимальный), мм	1 350	1 680	1 980
Движение корректировки (+/-), мм	50	50	50
Производительность, чур / мин	7,5	7,5	7,5
Число лазеров, шт.	5	7	7

шпиндели обеспечивают достижение расчетных данных ЦЗУ, исключая произвольное смещение. Передаточные рычаги подают сортимент на оптимальную позицию в луцильном станке, рассчитанную с высокой точностью, и благодаря этому достигается максимальный выход шпона из сортимента.

По сравнению с механическими способами базирования, такой способ обладает явными преимуществами: повышение точности базирования, возможность учета основных геометрических параметров, высокая производительность. Однако при детальном изучении принципов функционирования устройства можно отметить и его отдельные недостатки: возможности применяемого программного обеспечения имеют ограничения, невысокая точность аппроксимации поверхности сортимента (упрощенный алгоритм и математическая модель), отсутствие возможности учета толщины коры и некоторые другие.

Базирующие устройства с ультразвуковым измерителем. Мебельное предприятие фирмы *Columbia Pluwood Corp* специализируется на выпуске листовых материалов. Оно изготавливает в сутки 7 500 фанерных плит толщиной 19,05 мм (442,5 м). Сырьем для производства служат оregonская пихта (для внутреннего слоя) и древесина лиственных пород (для наружных слоев) из восточных районов США и Канады [119; 120].

На участке лущения шпона к загрузочному устройству луцильного станка марки Гое-8 (длина 2438,4 мм) установлена система для базирования кряжа с блоком сканирующих устройств и компьютером. Движение кряжа в вертикальном и горизонтальном направлениях обеспечивается специальными рычагами в соответствии с командой, поступающей от базирующей системы. Система базирования состоит из пяти ультразвуковых сканирующих устройств, которые имеют 20 аппаратов, направляющих ультразвуковые волны на кряж таким образом, чтобы они охватывали его по всей поверхности. По хронометрическим показателям возврата ультразвуковых волн компьютер определяет расстояние каждого из сканирующих устройств до поверхности кряжа. К нему прибавляется известная величина, учитывающая расположение осевой линии кряжа, с целью определения его радиуса в каждой точке сканирования.

Ультразвуковые сканирующие устройства, по сравнению с оптическими, работают безотказно в загрязненной среде и в условиях

пара, а также с кряжами темной окраски. Даже при выходе из строя трех управляющих ультразвуковых устройств вся система продолжает работать. С помощью компьютера, в этом случае, определяется профиль базлируемого кряжа, исходя из показаний действующих устройств. Затем производится окончательное базирование и фиксирование кряжа в положении, обеспечивающем максимальный выход шпона при лущении.

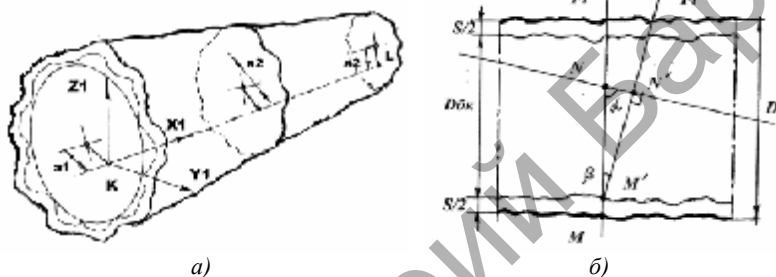
Рассмотренный метод базирования и устройство его реализующее бесспорно отражает последние достижения в области физико-технических методов бесконтактного измерения, но при разработке и внедрении таких устройств необходимо также учитывать недостаточно высокую точность измерений, которая является следствием частотных волновых процессов и особенностями их регистрации.

4.3 Способ параметрического базирования с коррекцией ошибок

Среди современных методов, которые применяются на крупных фанерных предприятиях Канады, США, Финляндии, Англии, наиболее перспективным является электронный способ базирования. Ориентация сортимента осуществляется при вращении сортимента вокруг предварительно установленной оси после определения расстояний до поверхности, производится перемещение сортиментов при помощи позиционирующих устройств. Рассмотренный метод позволяет установить положение оси цилиндра максимального объема по координатам поверхности сортимента, что приводит к неизбежным погрешностям при базировании. Вращательное движение сортимента и отсутствие заранее известных координат его оси не позволяет осуществить предварительный анализ количественных характеристик полученного шпона.

Предложенный в 1970-е годы А. В. Гуровым [22] метод определения положения оси максимального вписанного цилиндра не нашел применения в отечественном оборудовании вследствие сложности реализации и недостаточной точности методов аппроксимации. На основе базовой многопараметрической модели, построенной с помощью *CAD* системы, были разработаны и апробированы методы точного базирования и измерения кривизны фанерных сортиментов,

основанные на преобразования координат в компьютерные модели, адаптированные для работы специализированного оборудования с ЧПУ. На рисунке 4.12 показана схема, поясняющая алгоритм точного базирования фанерных сортиментов. Прямая, проходящая через точки $K(a, y_1, z_1)$ и $L(b, y_2, z_2)$ на торцовых поверхностях сортимента определяет положение его условной оси. Координаты точек определяются в соответствии с геометрической формой сортимента и толщиной коры.



- a* — расположение условной оси вписанного цилиндра;
б — схема для расчета коэффициента коррекции данных;
1 — положение оси при базировании; *2* — слой коры;
3 — вписанная окружность; *4* — условный центр сечения

Рисунок 4.12 — Измерение расстояния от точки поверхности до оси с учетом геометрической погрешности

Поиск оптимального положения оси производится на основе минимизации длин отрезков a_1, a_2, \dots, a_n , которые численно равны расстоянию между точками условных центров сечений и предполагаемой осью сортимента. Для нахождения координат условных центров задача условной оптимизации решается следующим образом:

$$\begin{cases} \min(-R^2) \\ P_c, R \\ R^2 - (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 \leq 0, \end{cases}$$

где R — радиус вписанной окружности.

$P_c(x_c, y_c)$ — точка искомого центра окружности;

(x_i, y_i) — координаты точки M_i ;

Координаты определяются для любого конечного количества сечений (определяются свойствами модели).

Найденные в результате оптимизации координаты точек K, L определяют положение оси максимального кругового цилиндра, вписанного в сортимент. Положение сортимента при совмещении этой оси с осью шпинделей лущильного станка дает возможность максимизировать объемный выход делового шпона и уменьшить количество отходов. При измерении координат могут возникнуть погрешности, вызванные смещением оси сортимента. Для компенсации этих погрешностей вычисляется значение корректирующего коэффициента. Предположим, что секущая плоскость параллельна оси OZ , тогда уравнение плоскости имеет вид

$$Ax + By + D = 0.$$

Предварительно определив направляющий вектор прямой и нормальный вектор плоскости, получим координаты

$$\vec{S}(b - a, y_2 - y_1, z_2 - z_1); \vec{n}(A, B).$$

Угол между прямой и плоскостью определим из следующего уравнения:

$$\sin \varphi = \frac{|A(b - a) + B(y_2 - y_1)|}{\sqrt{A^2 + B^2} \sqrt{(b - a)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

где φ — угол между прямой KL и плоскостью;

A, B — коэффициенты.

Принимая во внимание значение угла и положение отрезков на рисунке 4.12, b , вычислим длины отрезков: NM' и MM' с помощью формул:

$$NM' = NM - MM'; \quad MM' = \frac{S}{2},$$

где S — толщина коры, определяемая по известной эмпирической формуле:

$$S = 0,0225D_{c_{б.к}} + 0,095,$$

где $D_{c_{б.к}}$ — диаметр сортимента без коры.

Тогда отрезок $N'M'$, определяющий точное значение расстояния от «внутренней поверхности коры» до условной оси KL , будет вычисляться следующим образом:

$$N'M' = MN \cdot \cos \beta; \quad \beta = (180^\circ - (90^\circ + \varphi)).$$

Искомый коэффициент коррекции данных κ учитывается в дальнейших расчетах и имеет вид:

$$\kappa = \frac{N'M'}{NM'} = \frac{MN \cdot \cos \beta}{NM'}.$$

При этом граничные условия поиска выбираются в соответствии с координатами точек, принадлежащих соответствующему профилю поперечного сечения сортимента.

Метод, предложенный в данной работе, основан на взаимодействии программных средств и дополнительных устройств с целью увеличения точности базирования. На основе теоретических исследований моделей фанерных сортиментов и алгоритма разработан способ базирования, обеспечивающий повышение объемного выхода шпона. Для его реализации необходимо следующее вспомогательное оборудование: сканирующая система для измерения параметров сортиментов, координатное устройство для перемещения сортимента. Для формирования массива данных моделей, при проверке способа в условиях производства, применялось разработанное устройство для измерения координат поверхности сортиментов.

Оптимальное положение сортимента при лущении достигается тем, что координаты его оси устанавливаются с учетом n -го числа точек для каждого сечения сформированного на его параметрической модели. Точки (узлы сплайновой кривой) формируются с помощью переменных, значение которых выбирается из базы данных. Для

построения сечений и модели в целом используется более ста переменных. Число значений n может быть различным, но увеличение $n > 1\ 000$ не целесообразно, так как средний периметр сечения сортамента 400...1 000 м и форма сортамента практически не меняется.

Измерение координат оси базирования может производиться при любом конечном количестве сечений, расположенных на различных расстояниях друг от друга. Значения переменных записываются в память и вычисляются в виде промежуточных переменных, которые изменяют свои значения в зависимости от расположения оси.

Способ может учитывать индивидуальные особенности сырья, (кривизну, закомелистость, овальность, сбежистость), а также может использоваться алгоритм оптимального поиска, реализованный с помощью программного обеспечения. При центрировании учитываются координаты точек на всей поверхности сортамента. Каждое характерное сечение строится с помощью замкнутой сплайновой кривой (рис. 4.13).

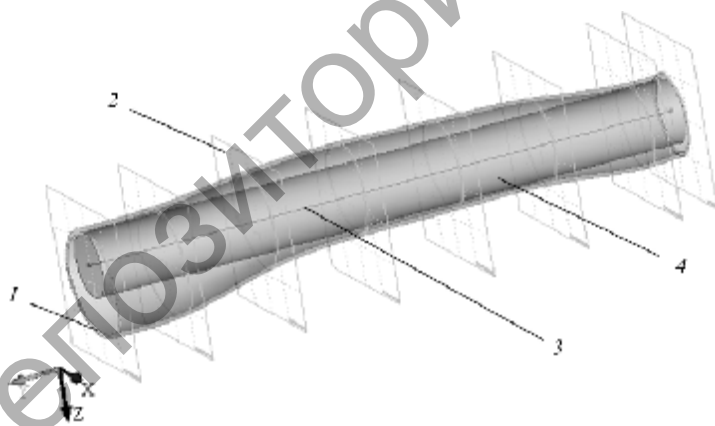


Рисунок 4.13 — Положение элементов модели при определении координат оси вращения сортамента

Координаты точек могут быть определены любыми известными измерительными устройствами или приборами. С помощью измерительного устройства фиксируются координаты характерных точек поверхности сортамента. Сформированные массивы чисел обрабатываются с помощью ЭВМ. От количества координат (параметров) зависит производительность способа, этот показатель используется также для выбора аппаратных ресурсов компьютера. Для

определения координат оси максимального вписанного в сортимент цилиндра, может быть использовано любое конечное число сечений.

Ограничения определяются аппаратными и программными ресурсами компьютерной системы и временем на обработку данных. Расстояния между сечениями должны учитывать характерные особенности сырья. Положение центра, максимального вписанного в сечение сортимента круга, выбирается с учетом текущих координат с применением метода оптимизации. Для поиска положения экономической оси анализируются расстояния до сплайновых кривых, определяющих сечения сортимента. Эти расстояния задаются с помощью переменных. Поставленные условия поиска позволяют определить положение экономической оси с высокой степенью точности и координаты точек на торцовой части фанерного сортимента, которые впоследствии могут быть использованы для управления ЦЗУ. Способ позволяет производить базирование с учетом толщины коры, которая вычисляется по эмпирическим формулам. При определении параметров сортимента имеется возможность учитывать отдельные зоны при лущении (рис. 4.14).



- 1 — кора; 2 — плоскость; 3 — ось цилиндра максимального объема;
4 — круговой цилиндр, вписанный в сортимент

Рисунок 4.14 — Оптимальное положение цилиндра максимального объема и его оси (учитывая толщину коры и кривизну)

Рассмотренный способ базирования был апробирован на Гомельском ФСК. Для определения степени точности нахождения координат было проведено несколько контрольных измерений. Последовательность выполнения работ выбиралась с учетом производительности оборудования и оперативностью проведения измерений. Партия сортиментов, подготовленных для проверки, укладывалась на отдельной площадке перед накопительным устройством. Затем производились замеры координат поверхности с помощью измерителя, разработанного на основе лазерно-координатного преобразования. После заполнения журнала учета измерений (табл.4.3) выполнялось моделирование процесса базирования с помощью ЭВМ. Полученные результаты записывались в память. После моделирования определялись точки, соответствующие координатам центра (экономической оси), на торцовых поверхностях сортиментов.

Применение способа позволит усовершенствовать технологический процесс и значительно увеличить объемный выход форматного шпона. Рассмотренный способ может быть использован для определения координат экономической оси и управления ЦЗУ лущильного оборудования на фанерных предприятиях, а также для оптимальной ориентации круглых лесоматериалов при распиловке на лесопильных предприятиях.

Т а б л и ц а 4.3 — Измеренные по сечениям параметры фанерных сортиментов

Сечение	Параметры (координаты точек поверхности)											
	168	183	191	195	186	179	177	170	167	168	158	163
1	168	183	191	195	186	179	177	170	167	168	158	163
2	173	185	184	180	185	182	184	179	178	172	165	168
3	194	195	185	160	153	151	155	173	188	190	192	193
4	200	195	173	142	134	138	149	171	189	196	198	201
5	212	198	170	131	122	120	137	171	192	203	205	206
6	194	190	158	123	124	125	134	160	176	190	189	196
7	142	135	126	135	142	145	144	146	144	135	139	145
8	140	125	139	140	148	159	160	157	145	122	114	123

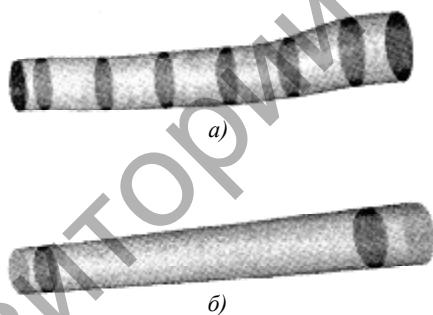
4.4 Сравнительный анализ способов базирования фанерных сортиментов

Одним из наиболее простых способов повышения экономичности производства является улучшение характеристик центровочно-загрузочных устройств (ЦЗУ), которые используются в комплекте с лущильными станками. Для ЦЗУ, применяемых на предприятиях Беларуси, характерно использование нескольких геометрических способов базирования, каждый из которых имеет свои недостатки, они и определяют потери сырья и электроэнергии при лущении. Цель проведенных на предприятии исследований — проанализировать особенности работы различных промышленных ЦЗУ и выявить причины, которые в конечном итоге влияют на количество потерь полезной древесины. Для оценки эффективности ЦЗУ были проведены исследования моделей фанерных сортиментов с помощью системы твердотельного моделирования. Основой для моделирования послужили параметры, измеренные с помощью опытной установки на производственном предприятии «Фанеро-спичечный комбинат» в г. Гомеле. Совмещение осей вращения и максимального вписанного цилиндра может быть выполнено механическим или электронным способом. Одним из самых доступных и простых является способ базирования по трем точкам [59].

Сущность этого способа заключается в следующем: точка, определяющая центр вписанного в сечение сортимента круга, находится на пересечении трех прямых, проходящих через три точки, лежащие на поверхности сортимента; прямые пересекаются друг с другом под углом 120° . Такой способ является эффективным для сортиментов с профилем сечения, наиболее близким к правильному (в виде круга). Связь между указанными точками должна быть такой, чтобы они в любой момент могли находиться на одинаковом расстоянии от оси вращения. При этом, изменение расстояния до одной из точек может повлечь за собой возникновение ошибки центрирования.

К устройствам с принципом центрирования по трем точкам относится ЦЗУ моделей *PK* финской фирмы *Raute*, в котором центровка выполняется при помощи шести зажимных пластин. Устройство работает в полуавтоматическом режиме. Прием сортимента с конвейера, центрирование его и перевод в «ожидающее» положение

торцовыми зажимами перед загрузкой в лущильный станок производится автоматически по команде соответствующих датчиков. Загрузка сортимента в станок происходит при нажатии оператором кнопки на пульте управления. Вследствие того, что пластины захватывают сортимент в двух местах, при центрировании принимаются во внимание только два сечения, которые расположены на расстоянии около 30 см от краев сортимента. Основная поверхность, которая находится между захватами, может иметь значительные отклонения формы. В результате использования при базировании только двух сечений возникают ошибки при определении истинной формы сортимента, которые приводят к неправильному определению координат точек, определяющих ось вращения. Отклонения формы и возникающие при этом изменения показаны на рисунке 4.15.



а) — при использовании восьми сечений;
б) — при использовании двух сечений

Рисунок 4.15 — Влияние количества сечений при базировании на правильность определения формы сортимента

Разработанный способ базирования позволяет устранить погрешности, связанные с изменением формы сортимента и произвести точное базирование перед закреплением в шпинделях лущильного станка. Принимая во внимание настройку манипулятора и автоматизированной системы управления, которая может использоваться в ЦЗУ,

координаты точек на торцовых поверхностях сортимента могут быть найдены с точностью до 0,1 мм. Такая погрешность позволит свести потери древесного сырья к минимуму и сэкономить электроэнергию, потребляемую приводом станка.

Для анализа работы устройства были использованы компьютерные модели сортиментов, параметры которых были получены с помощью измерительного приспособления. Для сравнения были проведены замеры опытной партии сортиментов одинаковой длины, отличающихся по форме (табл. 4.4). По результатам замеров координат точек поверхности сортимента были сформированы компьютерные модели и проведено их виртуальное центрирование с целью определения диаметра максимального вписанного цилиндра и предполагаемого выхода полноформатного шпона. Перед непосредственной обработкой сортименты базировались в устройстве *PK (Raute)* по трехточечной схеме. Были определены средние величины увеличения выхода шпона по выборке, которая соответствует математическому ожиданию, и другие характеристики:

- 1) выборочное среднее: $\bar{x}_v = 13,184$;
- 2) выборочная дисперсия: $D = 52,17$;
- 3) среднеквадратичное отклонение: $\sigma_v = 7,23$.

Т а б л и ц а 4.4 — Анализ результатов сравнения фактических и расчетных параметров

Параметры сортиментов		Кривизна, %	Выход шпона, %				Увеличение объема выхода K , %
Диаметр сортимента, D_c , см	Объем сортимента, V_c , м ³		Объем форматного шпона $V_{ф. ш.}$, м ³	Объем форматного шпона (оптимизация) $V_{ф. ш. 1}$, м ³	Объемный выход шпона (моделирование)		
					$K_{ф}$	$K_{ф1}$	
17,7	0,0401	0,63	0,0209	0,0227	52,1101	56,7296	4,62
18,8	0,0422	2,21	0,0146	0,0221	34,6392	52,2574	17,62
19,3	0,0485	2,61	0,0104	0,0191	21,5418	39,4520	17,91
19,6	0,0509	2,37	0,0167	0,0267	32,8199	52,5326	19,71
20,3	0,0542	1,34	0,0302	0,0335	55,6877	61,7525	6,06

При рассмотрении динамики увеличения объемного выхода форматного шпона для выборочных данных использованы средства статистического анализа. Среднее значение процентного увеличения объема форматного шпона в данном случае — 13,184%.

Характерным для выборки является также коэффициент корреляции, определяющий степень линейной зависимости между определенными параметрами:

- 1) влияние кривизны на выход форматного шпона: $r_1 = -0,904$;
- 2) влияние кривизны на оптимизированный выход форматного шпона : $r_2 = -0,727$;
- 3) влияние кривизны на увеличение выхода (оптимизация): $r_2 = 0,9504$.

Анализируя результаты, можно сделать вывод, что особенно большое значение имеет использование современных методов базирования для сортиментов, имеющих кривизну ствола. Применение механических способов, в том числе и трехточечного, приводит к большим потерям сырья и электроэнергии.

Базирование сортиментов в механических устройствах, работающих по трехточечной схеме, предъявляет особые требования к фанерному сырью. При обработке сортиментов, имеющих даже незначительные пороки формы ствола, возникают большие потери древесины за счет неточного определения экономической оси. По этой причине на участке базирования сортиментов целесообразно применение новых устройств, позволяющих учитывать индивидуальные особенности сырья. Созданные при разработке лущильного оборудования центровочно-загрузочные устройства (ЦЗУ) по принципу действия можно условно разделить на механические и электронные. На предприятиях Республики Беларусь применяются преимущественно механические устройства.

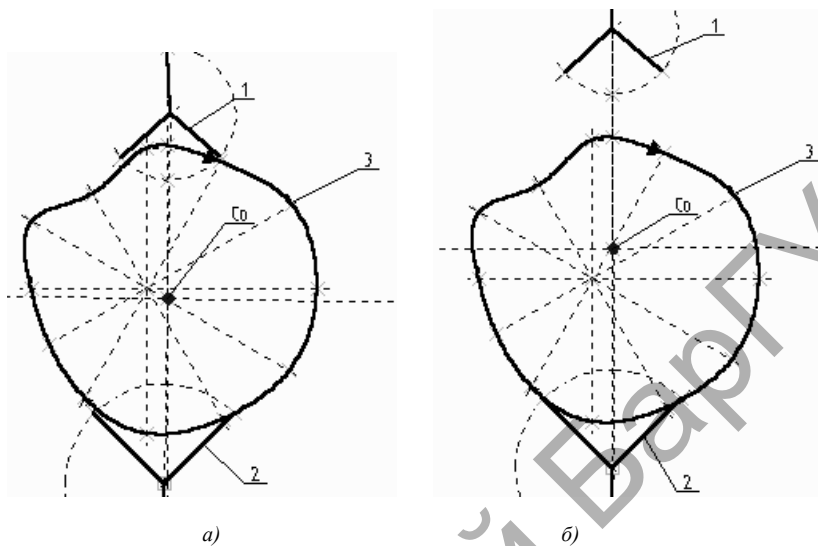
Каждое из этих устройств функционирует на основе трех или четырехточечных способов базирования [59]. Отечественные лущильные станки имеют ЦЗУ, использующие четырехточечный способ, основанный на базировании сечения сортимента между двумя жесткими вилками, пальцы которых расположены под углом 90° друг к другу. Нижняя вилка жестко соединена с вертикальным стержнем, а верхняя — шарнирно.

Однако такой способ базирования не дает хороших результатов даже при симметричных сечениях (за исключением круга). Объясняется это тем, что положение центра сечения зависит от угла наклона большой его оси: чем больше этот угол, тем дальше может отойти центр сечения от оси вращения шпинделей.

На основе этого способа в лущильных станках ЛУ17-4 работают ЦЗУ системы Н. А. Банько, Н. А. Жукова, А. А. Порохина. Благодаря этому приспособлению, стало возможным одновременно выполнять центрирование сортимента и подачу его к шпинделям лущильного станка. Устройства с аналогичным принципом действия могут выноситься за пределы станка. Выносное центрирование сокращает вспомогательное время на обработку одного сортимента. Но даже этот положительный аспект не может компенсировать потерь при лущении, связанных с ограниченным количеством сечений, на основе которых производится базирование [59]. Сырье, поступающее на предприятия Республики Беларусь, как правило, имеет значительный процент пороков формы ствола, которые затрудняют обработку и увеличивают непредвиденные потери древесины. Для совершенствования технологических процессов, связанных с переработкой и расширением посортного состава сырья, в Белорусском государственном техническом университете на кафедре «Технология деревообрабатывающих производств» проводится работа по изучению особенностей сырья и его переработки.

С помощью трехмерной системы был смоделирован процесс базирования моделей сортиментов, сформированных по реальным параметрам. Найденные координаты центра вписанного цилиндра были использованы для расчета объемного выхода форматного шпона. Это позволило сопоставить существующие способы базирования и определить недостатки ЦЗУ. Для этого, с учетом размеров, были построены схемы взаимодействия элементов устройств и сечений сортимента (рис. 4.16). Для установления координат центров оси учитывалось положение сортимента в зажимах. Очевидно, что при таком способе базирования положение центра сечения в значительной степени зависит от его формы.

В результате этих операций было определено положение оси для каждого сортимента. Объемный выход шпона определялся по трехмерной параметрической модели с учетом среднего диаметра «карандаша» (в данном случае $D_k = 75$ мм) (табл. 4.5).



a — положение элементов до центрирования; *б* — после центрирования;
 1 — верхний захват; 2 — нижний захват; 3 — профиль сечения сортимента;
 Co — центр сечения;

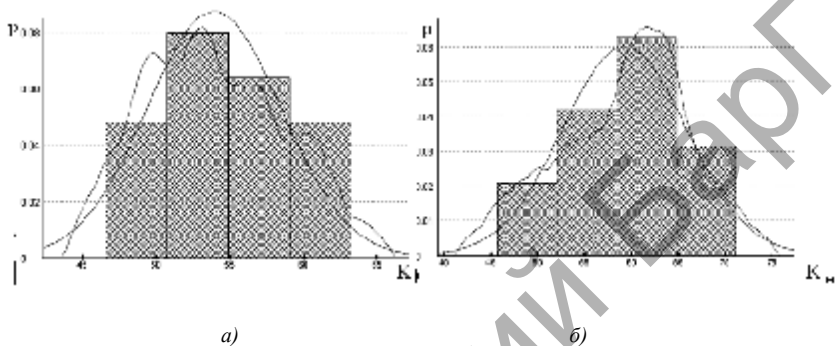
Рисунок 4.16 — Положение захватов и центра при базировании

Т а б л и ц а 4.5 — Сравнительный анализ влияния кривизны сортиментов на объемный выход лущеного шпона для разных способов базирования

Параметры сортиментов		Объем форматного шпона для способа базирования, м ³	
Объем сортиментов, м ³	Кривизна, %	разработанного	четырёхточечного
0,0696	1,56	0,0274	0,0195
0,0375	3,39	0,0099	0,0056
0,0545	2,52	0,0237	0,0195
0,0369	2,25	0,0142	0,0121
0,0717	3,93	0,0307	0,0156
0,0567	2,92	0,0194	0,0158
0,0734	3,47	0,037	0,0295
0,0511	0,95	0,0313	0,0289

Примечание. Влияние кривизны на увеличение выхода для разработанного способа $r_3 = 0,6711$.

Для подтверждения эффективности разработанных методов оптимальной ориентации фанерных сортиментов и бесконтактного измерения их кривизны была проведена серия экспериментальных исследований (акт опытно-промышленной проверки). На рисунке 4.17 приводится сравнительный анализ методов ориентации сортиментов.



а) — распределение K_ϕ ; б) — распределение K_M

Рисунок 4.17 — Гистограммы выборочных распределений

На диаграммах K_M — объемный выход шпона при оптимальной ориентации сортиментов, а K_ϕ — объемный выход шпона при лущении на существующем оборудовании. Выборочная средняя распределения K_ϕ — $\overline{x_\phi} = 0,539$. Этот параметр характеризует коэффициент выхода шпона. Для второго распределения (K_M) средний коэффициент выхода шпона, при оптимальной ориентации сортиментов (с учетом их геометрических параметров) — $\overline{x_{1в}} = 0,592$. Установлена взаимосвязь между объемными выходами:

$$K_M = \phi K_\phi = 1,104 K_\phi,$$

где ϕ — среднее значение коэффициента, определяющего увеличение объемного выхода шпона по результатам сравнения двух выборок сортиментов с близкими геометрическими показателями.

Сравнивая средние значения объемного выхода шпона, можно определить увеличение объемного выхода шпона при различных методах базирования сортиментов. Увеличение объемного выхода составило 5,34%. Это значение было принято для экономической оценки эффективности новых методов. Положение экономической оси сортимента и зона форматного шпона, сформированная при моделировании процесса, показана на рисунке 4.18.

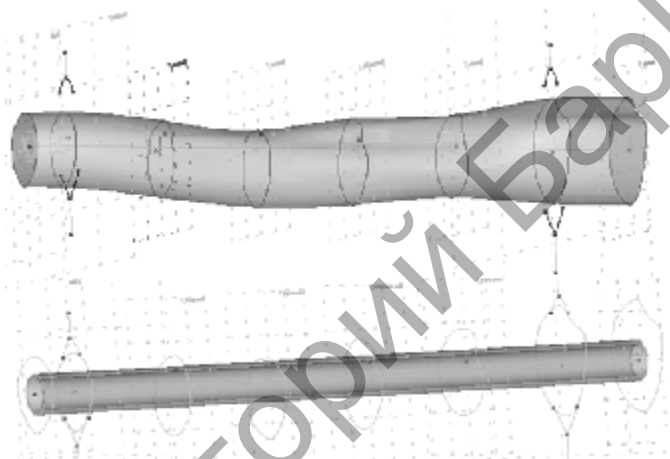


Рисунок 4.18 — Моделирование процесса базирования и конечный результат после предварительной оцилиндровки

В результате проведенного анализа была установлена связь между кривизной сортимента и увеличением объемного выхода. Зависимость носит нелинейный характер. Предположительно, это объясняется тем, что при базировании в рассмотренном устройстве немаловажное значение имеют и другие пороки формы сортимента (овальность, закомелитость, сбежистость и наличие наростов), а также средний диаметр фанерного сортимента. Гистограмма распределения для выборки сортиментов с определенной кривизной оказана на рисунке 4.19.

При рассмотрении характеристик можно заметить, что в основном распределение совпадает с теоретическим графиком ядерной

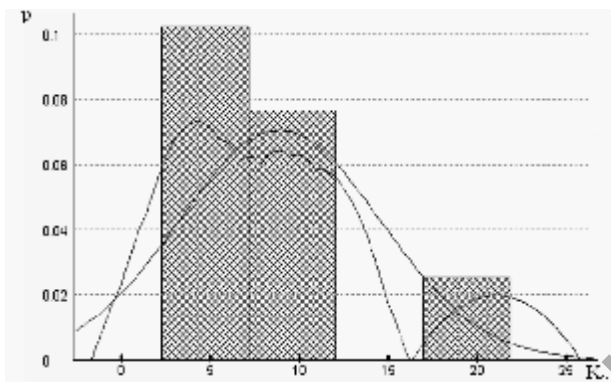


Рисунок 4.19 — Гистограмма распределения для выборки сортиментов

оценки. Исключение составляет только одно значение (21,09%), которое характеризует качество базирования специально отобранного сортимента с большой кривизной. Из расчетов можно определить среднюю величину по выборке, которая соответствует математическому ожиданию, и другие характеристики:

- 1) выборочное среднее: $\bar{x}_b = 8,91$;
- 2) выборочная дисперсия: $D = 36,532$;
- 3) среднеквадратичное отклонение: $\sigma_b = 6,04$.

Характерным для выборки является также коэффициент корреляции, определяющий степень линейной зависимости между определенными параметрами [48—50].

Сравнительный анализ способов базирования фанерных сортиментов показал, что при выполнении ориентации сортиментов с учетом их формы и координат точек поверхности, а также толщины коры, можно добиться значительной экономии фанерного сырья.

Применение рассмотренного способа прецизионного базирования позволяет учесть геометрические особенности фанерных сортиментов. Особенность способа заключается в применении трехмерных моделей, сформированных на основе измерений координат поверхности сортиментов. Применение устройства совместно с действующими станками повысит количество получаемого из сортиментов сырого шпона в среднем на 3...5%.

Глава 5

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СЫРОГО ЛУЩЕНОГО ШПОНА

Решение проблемы экономии сырья и энергетических ресурсов может быть достигнуто путем усовершенствования существующей технологии и оборудования. Формирование структуры ресурсосберегающей системы в производстве лущеного шпона осуществляется на основе внедрения компонентов информационных систем и специального оборудования, основанных на современных средствах преобразования и передачи информации. Актуальным условием внедрения ресурсосберегающего оборудования является применение исполнительных устройств повышенной точности, управляемых с помощью систем с ЧПУ.

5.1 Применение оборудования для сканирования и оцифровывания координат поверхности фанерных кряжей и сортиментов

5.1.1 Принципы построения измерительных комплексов и систем автоматизированного учета сырья в деревообрабатывающих производствах

Системы автоматизированного учета и измерительные комплексы строятся в зависимости от вида сырья и технологических схем подачи материала в основные деревообрабатывающие цехи.

Для лесопильного, тарного и фанерного производств входной продукт в основные цехи — круглые сортименты различных диаметров и длин, набор которых определяется конечным продуктом и конструктивно-техническими характеристиками технологического оборудования.

В этом случае системой датчиков определяется диаметр, длина и количество круглых лесоматериалов, информация о которых подается в счетно-решающий блок, подсчитывающий объем отдельного сортимента с коррекцией на толщину коры. В последующем сумматоре суммируется информация о единичном объеме с учетом информации о количестве сортиментов, получаемой со счетчика. Такой принцип организации системы учета применяется при продольном перемещении сортиментов, обычно на выходе со склада сырья перед основными цехами.

При поперечной подаче сырья в виде круглых сортиментов, что характерно для фанерного производства и производства древесных пластиков и плит, используют более простой принцип измерения объема. В связи с тем, что заготовки (сортименты) имеют строго определенную длину (1,3 и 1,6 м), это позволяет имитировать длину числовыми коэффициентами.

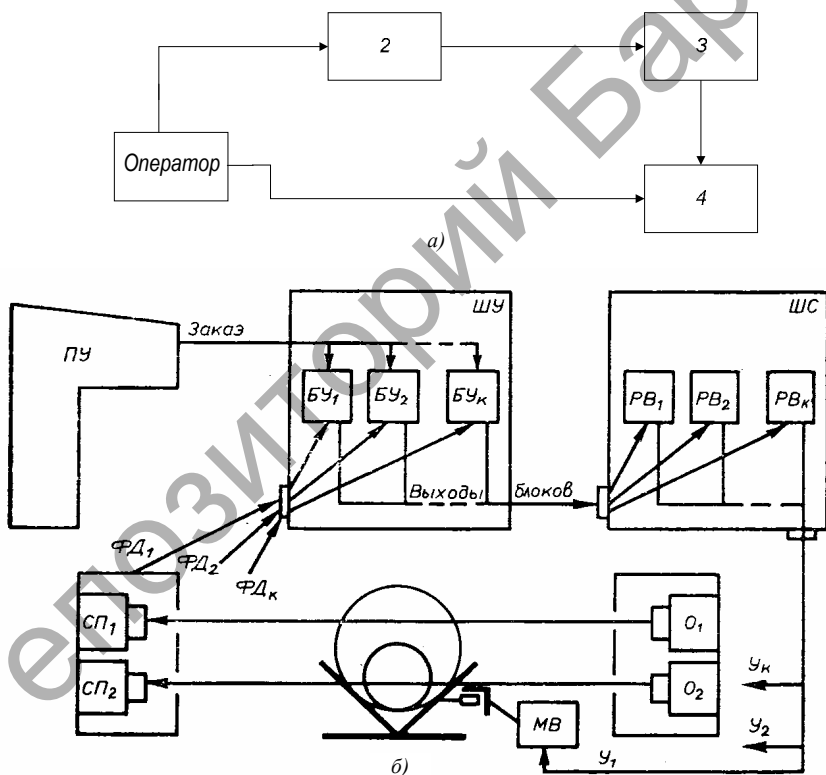
Структура измерительных и преобразующих устройств предусматривает датчик диаметров (обычно в середине сортимента). Информация с него поступает на нелинейный преобразователь, который возводит ее во вторую степень. На операционном усилителе имеется возможность перемножить информацию о квадрате диаметра с коэффициентом, характеризующим длину сортимента с учетом коэффициента формы.

Полученная информация суммируется в последующем сумматоре, куда по отдельному каналу поступает непрерывно или циклически информация о количестве сортиментов. С выхода сумматора получают суммарный объем круглой древесины, поступающей на переработку.

На фанерном и лесопильном производстве, где имеются акватории (варочные и пропарочные бассейны), используют метод учета, основанный на законе Архимеда: объем древесины определяется по объему вытесненной жидкости. В этом случае основным блоком автокубатурника является сумматор, на вход которого подаются сигналы с двух силоизмерителей. Один из них измеряет выталкивающую силу, действующую на полностью притопленный сортимент, другой — определяет массу (вес) сортимента, извлеченного из воды. Согласно выражению $P + F_{\text{в}} = V$, информация о сумме этих сил однозначно определяет объем отдельного сортимента или пачки сортиментов.

Для мебельного производства характерно некоторое разнообразие в видах сырья. Сырьем служат круглые сортименты, древесные плиты и пиломатериалы (имеются в виду обрезные пиломатериалы, имеющие точную геометрическую форму, например, параллелепипед). Круглые сортименты учитывают по такому же принципу. Определение количества поступающих в производство пиломатериалов имеет свои особенности.

Структурная схема управления сортировкой круглых лесоматериалов приведена на рисунке 5.1, а.



а — структурная схема управления; б — функциональные блоки сортировочной системы

Рисунок 5.1 — Управление сортировкой круглых лесоматериалов

Объект сортировки (круглый лесоматериал) *1* поступает на сортировочный транспортер в некоторый момент времени *t* и воздействует на задающее устройство *2*, которое автоматически или по команде оператора вводит в логическое устройство *3* информацию $I(t)$, однозначно характеризующую все отличительные признаки данного сортимента. Логическое устройство *3* производит задержку этой информации на определенное время. Устройство *3* формирует управляющее воздействие по истечении промежутка времени Δt . Это управляющее воздействие поступает в сбрасывающее устройство *4*, которое сбрасывает сортимент в соответствующий накопитель. По требованиям технологии в логическом устройстве *3* одновременно должна обрабатываться информация от поступивших на транспортер сортиментов.

Из этого следует, что условие функционирования управляющего устройства с точки зрения количества одновременно обрабатываемой информации можно представить как сумму единиц информации о каждом сортименте, находящемся на транспортере (рис. 5.1, б).

Если на производстве произвели предварительную сортировку сортиментов по одному или двум параметрам, то способы учета значительно упрощаются, так как в этом случае измеряют датчиком отдельные геометрические параметры, изменяющие свое значение. Остальные параметры, по которым происходила подсортировка, моделируются постоянными коэффициентами, заложенными в блок умножения в виде коэффициентов усиления.

В производстве пластиков и плит измельченную древесину в виде щепы и стружки учитывают, измеряя ее массу или объем. Иногда (для мелких фракций и при подаче пневмотранспортом) используются косвенные методы, основанные на измерении расхода воздуха со взвешенными частицами древесины, так называемые расходомеры обтекания. Массу измеряют измерительными устройствами, одно из которых выдает сигнал о массе влажной стружки или щепы при определенном постоянном объеме навески. Другой измеритель, или эталонное устройство, выдает постоянный по величине сигнал, соответствующий массе абсолютно сухой измельченной древесины, заключенный в такую же по объему навеску.

При косвенном методе измерения расхода мелких фракций измельченной древесины, основанном на измерении силы давления воздушного потока с взвешенными частицами древесины, применяются

расходомеры обтекания. Их устанавливают на горизонтальном участке пневмопровода. Расходомер обтекания имеет вид подпружиненного крыла прямоугольной или круглой формы, которое воспринимает давление исследуемого потока, имеющего однозначную зависимость с расходом мелких фракций древесины.

Структура устройств автоматизированного учета листовой и плитной продукции зависит от того, в каком месте производственного процесса устанавливаются эти устройства. Иногда измеряются геометрические размеры каждой плиты, находящейся в движении. Информация с датчика толщины (переменная величина) подается в блок умножения, где умножается на соответствующие коэффициенты, имитирующие постоянные по значению ширину и длину плиты [13; 90].

Преобразованная информация поступает по отдельным каналам в ЭВМ, где сравнивается с нормативной информацией, заложенной в программе. По требованию ЭВМ может выдать информацию об израсходованном сырье по отдельным его видам за любой промежуток времени.

При автоматизированном управлении производством с помощью ЭВМ учетная информация используется для выработки управляющих воздействий на автоматические регуляторы и управляющие устройства, обеспечивающие через исполнительные механизмы рациональное ведение производственного процесса.

Отдельные виды производства, на которых применяют управляющие вычислительные машины (микропроцессоры), могут не иметь первичных промежуточных преобразователей, выполняющих счетно-логические операции.

5.1.2 Конструкция и принцип работы устройства для сканирования координат поверхности кряжей и сортиментов

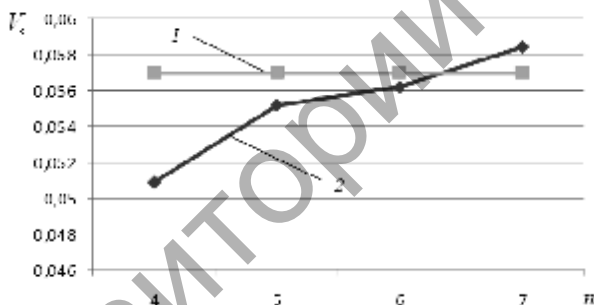
Для выбора оптимального количества датчиков был проведен анализ процесса сканирования фанерного сортимента. Для проведения данного исследования было проведено моделирование процесса сканирования сортиментов.

Т а б л и ц а 5.1 — Параметры исследуемых объектов

Параметр измерения	Модель				
	Проверочная модель	4	5	6	7
Масса, кг	37,1693	33,1097	35,8733	36,529	37,9885
Объем, м ³	0,05787	0,0509	0,05518	0,05619	0,05844

В результате моделирования был вычислен объем сортимента с учетом количества точек, характеризующих координаты поверхности фанерного сортимента. В таблице 5.1 представлены результаты расчетов и параметры моделей.

Приведенная диаграмма (рис. 5.2) характеризует расчетное значение объема сортимента в зависимости от количества датчиков.



1 — линейная зависимость (табличный объем); 2 — изменение объема сортиментов (при компьютерном моделировании для разного количества датчиков)

Рисунок 5.2 — Сравнительная диаграмма объема моделей (различное количество преобразователей)

При сравнении приведенных в таблице 5.1 параметров моделей с параметрами оригинала и на основании показателей диаграмм делаем вывод, что максимально приближены к фактическому показателю модели с семью установленными преобразователями. Количество измерительных преобразователей значительно влияет на стоимость разработанных устройств. По этой причине в настоящее

время проводятся исследования, направленные на уменьшение их количества [48—50].

В соответствии с научным направлением и тематикой государственной научной программы «Станки и инструмент», в физико-техническом институте Национальной академии наук Республики Беларусь был разработан комплекс для базирования фанерных сортиментов с учетом их геометрической формы.

Рассматриваемое устройство является составной частью комплекса. При выполнении проектных работ были смоделированы несколько вариантов узлов, отличающихся по характеристикам. Узел перемещения и позиционирования датчиков состоит из следующих деталей: 1) рама; 2) крышка рамы; 3) датчики; 4) стандартные и унифицированные элементы.

Деталь «Рама» представляет собой тело подковообразной формы (рис. 5.3). Она предназначена для размещения и защиты лазерных дальномеров. Основные требования, предъявляемые



Рисунок 5.3 — Сборочная конструкция узла позиционирования датчиков

к конструкции таких деталей — это обеспечение правильности позиционирования датчиков, позволяющих охватывать всю периферийную часть бревна, надежности их крепления, защиты от неблагоприятных внешних воздействий.

Для формирования рельефного профиля бревна особое значение имеет выбор измерительных преобразователей. Выбору их количества, как правило, предшествует расчет параметров модели.

Исходя из выбранного количества датчиков (7 шт.), была разработана

конструкция рамы, позволяющая разместить дальномеры *L-GAGE LT3* с учетом максимальных диаметров бревен, используемых в производстве шпона (рис. 5.4).

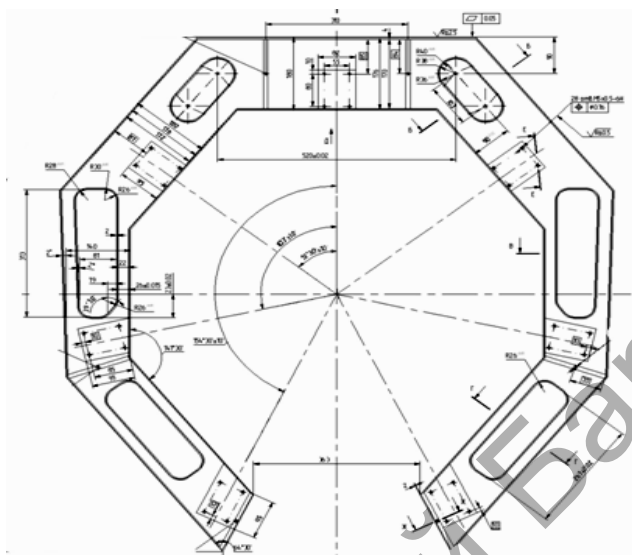


Рисунок 5.4 — Фрагмент чертежа рамы сканирующего устройства облегченного типа

Разработанная конструкция обеспечивает все предъявляемые к ней требования и позволяет производить сканирование бревен для оптимального базирования фанерных сортиментов с учетом их геометрических особенностей.

Для выбора оптимального количества датчиков был проведен анализ процесса сканирования фанерного сортимента с последующим его моделированием.

При выборе датчика узла сканирования для оптимального базирования фанерных сортиментов перед процессом изготовления лущеного шпона предпочтение было отдано лазерному дальномеру *L-GAGE LT3*, так как его технические и конструкторские параметры наилучшим образом подходят для данного узла.

К свойствам данного датчика относятся: высокая точность при большой дальности и экономичная и современная технология времени пробега. В датчике для точного и надежного измерения дальности используется технология измерения времени пробега. Датчик, управляемый микропроцессором, базируется на уникальной концепции, обеспечивающей высокую точность и большую дальность

при невысокой стоимости по сравнению с аналогичными приборами. Благодаря своей точности и низкой цене *LT3* является оптимальным для решения многих задач измерения с высокими требованиями к точности.

Прецизионный отражательный тестер с дальностью до 5 м и разрешением до 1 мм: диапазон дальностей лазерных датчиков *LT3* составляет 0,3...3 м для серых объектов и 0,3...5 м для белых. Разрешение датчика до 1 мм зависит от выбранной скорости обработки сигнала и цвета определяемого объекта.

Отражательные тестеры с рефлектором с дальностью до 50 м: при работе с рефлектором датчики *LT3* обеспечивают точное определение позиции объекта на расстояниях до 50 м, при этом остается высокое разрешение до 3 мм (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 — Конструкция датчика *LT3*

Измеритель расстояния *LT3* надежно распознает наклонные и плохо определяемые объекты, которые не детектируются ультразвуковыми датчиками.

Датчики *LT3* имеют комбинированный вариант с аналоговым и переключающим выходами или вариант с двумя переключающими выходами с независимо устанавливаемыми диапазонами. Имеются

версии аналогового выхода 4...20 мА или 0...10 В. Для переключающих выходов можно выбирать исполнение ключа на *PNP* или *NPN*-транзисторе.

Компактное исполнение *LT3* (68,5 × 35,3 × 86,9 мм) позволяет осуществлять его установку в ограниченном пространстве. Конструкция обеспечивает максимальное удобство при установке.

Диапазон расстояний срабатывания прибора:

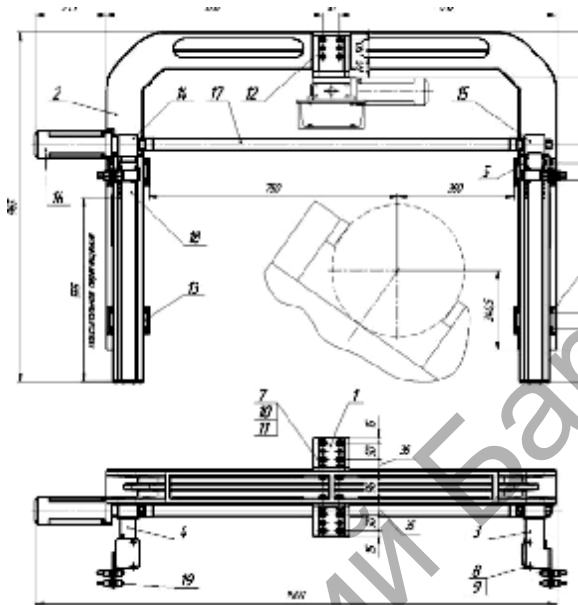
- 1) отражательный тестер, серый объект: 0,3...3 м;
- 2) отражательный тестер, белый объект: 0,3...3 м;
- 3) отражательный тестер с рефлектором: 0,5...50 м.

Программирование с помощью кнопок упрощает конфигурирование *LT3*. В режиме *TEACH* (обучение) с помощью кнопок задается необходимый пользователю диапазон (величина и положение) или отдельное пороговое значение, которое находится в середине окна шириной 1 м. Изменяющийся сигнал на аналоговом выходе пропорционален расстоянию до определяемого объекта внутри установленных границ диапазона. Переключающий выход активируется тогда, когда объект находится внутри установленных пользователем границ измерительного диапазона. Границы измерительного диапазона для аналогового и переключающего выходов могут устанавливаться идентично, но независимо друг от друга. Характеристика аналогового выхода, независимо от порядка следования запрограммированных границ, может быть возрастающей или спадающей.

Датчик расстояния *LT3* имеет масштабируемый аналоговый выход для автоматической оптимизации работы. Аналоговый сигнал равномерно растягивается на всю ширину запрограммированного диапазона. Масштабируемый выход уменьшает время подготовки к работе и улучшает разрешающую способность даже при наличии помех. С помощью режима автоматического обнуления можно быстро и просто установить расстояние в середине рабочего диапазона шириной 1 м.

Программирование времени срабатывания обеспечивает гибкость применения датчика. Простым нажатием кнопки можно установить необходимое время срабатывания: 1, 10 или 100 мс.

Высокая точность измерительных характеристик преобразователей определяет технические показатели всего комплекса. Для определения параметров сортиментов было разработано несколько конструкций измерительного блока. Одна из них показана на рисунке 5.6.



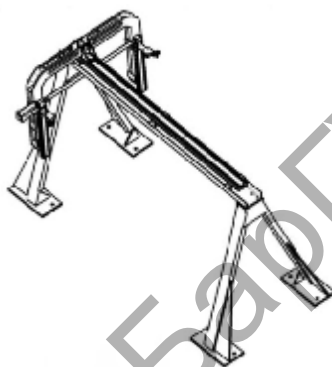
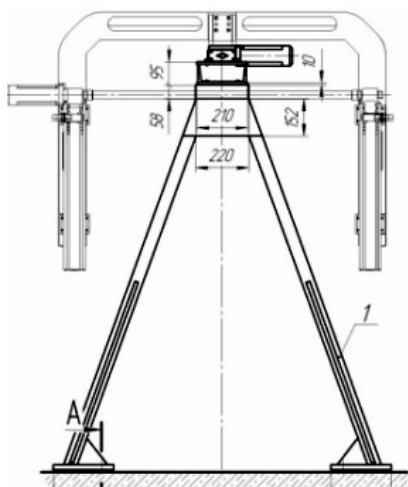
1 — крепежная планка, 2 — корпус рамы,
3, 4 — направляющие, 5—19 — элементы и механизмы
сканирующего измерителя

Рисунок 5.6 — Конструкция сканирующего блока

Конструкция спроектированного узла сканирования состоит из следующих элементов: шарико-винтовая пара; крышки шариково-винтовой пары; направляющие привода узла сканирования; двигатель привода узла сканирования; основание узла сканирования; рама узла сканирования; крышка рамы; датчики рамы узла сканирования. Данная конструкция обладает следующими характеристиками: легкость и надежность конструкции, высокая точность сканирования, высокая жесткость, компактность, простота монтажа, низкий уровень шума, большой срок службы.

Узел размещения датчиков универсальный, позволяющий преобразовывать сигнал от двух датчиков при их одновременном перемещении.

Разработанная конструкция обеспечивает высокую точность сканирования поверхности сортамента с использованием двух измерительных преобразователей (рис. 5.7).



1 — опорный элемент сканирующего устройства

Рисунок 5.7 — Конструкция механизма продольного перемещения сканирующего узла

В большинстве моделей станков с ЧПУ используются шарико-винтовые пары передач. Зубчато-ременные передачи не обеспечивают необходимой жесткости и точности перемещения. Применение зубчато-ременных передач оправдано в конструкциях сравнительно недорогих фрезерно-раскроечных (плоттерных) станках, где необходимо передать крутящий момент на значительное расстояние, при этом нагрузки сравнительно невелики. Передача «зубчатая рейка — зубчатое колесо» применяется исключительно в конструкции крупногабаритных станков, у которых длина корпуса не позволяет применить шарико-винтовую пару. Этот тип передачи чувствителен к попаданию стружки и пыли на зубчатую поверхность, что приводит к потере точности позиционирования и возникновению вибрации. Кроме того, передача требует постоянного регулирования прижима зубчатого колеса к рейке, при этом регулировка в одном месте не обеспечивает оптимального натяжения в другой части рейки. В результате это приводит к зазорам механической передачи при недостаточном прижиге, следовательно, большей погрешности обработки, либо превышения прижима, в результате

чего увеличиваются силы трения в передаче, износ узлов, возможно возникновение заклинивания.

Наиболее удобны для данных условий шарико-винтовые передачи [21]. В отличие от рейковой передачи, где возникают силы трения при скольжении, шарико-винтовая передача работает на качение шариков по шлифованной винтовой канавке винта. Для обеспечения необходимых ходовых качеств в конструкции применялись стандартные линейные модули.

При проектировании учитывались также и динамические свойства элементов устройства. Проведенные теоретические исследования моделей сортиментов различной структуры и имеющих различное положение оси вращения позволяют предположить, что износ механических элементов, надежность и долговечность механизмов зависят от динамических свойств объекта. Для выяснения особенностей работы базирующего устройства был проведен его анализ при определенной частоте вращения сортиментов. Анализ проводился с помощью средств интегрированной компьютерной системы.

При выполнении динамического анализа были решены следующие задачи:

- анализ траекторий движения, скоростей, ускорений любых точек компонентов механической системы под действием сил;
- анализ временных характеристик механической системы (время прихода в целевую точку, время затухания колебаний и т. д.);
- анализ сил, возникающих в компонентах механической системы в процессе движения (силы реакции в опорах, сочленениях и т. д.).

Результаты расчета были представлены в виде графиков, динамических векторов-стрелок и в виде массива чисел (точки графика), координат, скоростей, ускорения, силы реакций в шарнирах, усилия в пружинах и т. д. Непосредственно в процессе расчета были проведены наблюдения за поведением модели с любой точки. По готовым результатам динамического расчета созданы анимационные ролики. Динамический расчет базируется на специальном объекте системы — задаче динамического анализа. Задача объединяет в себе данные и элементы, необходимые для выполнения одного расчета модели. Она содержит данные, задающие направление силы тяжести, свойства элементов задачи по умолчанию (свойства шарниров, силы трения, контактные свойства), временные характеристики моделируемого процесса, а также информацию об используемых телах,

нагрузках, параметрах связей между отдельными компонентами и т. д. После выполнения вычислений задача также содержит результаты расчета. Задача динамического анализа ассоциативно связана с трехмерной моделью. При изменении параметров или состава модели автоматически происходят соответствующие изменения и в задаче. Исследовались различные режимы работы оборудования. На основании расчетов были обоснованы конструктивные особенности устройства и его дополнительные возможности.

Наглядная модель устройства и установленные временные процессы взаимодействия элементов были отражены с помощью средств анимации. Анимация — эффективный механизм, помогающий при проектировании изделия. С помощью анимации можно анализировать поведение кинематических механизмов и взаиморасположение деталей сборочных конструкций. Создание анимации является логическим продолжением работы с параметрической моделью, позволяет наглядно отобразить влияние изменения параметров на форму и положение объектов 3D-сцены, моделировать работу кинематических механизмов, записывать и анализировать процесс разнесения элементов сборочной конструкции [149—151]. Возможность решения этих задач является еще одним преимуществом использования параметризации при создании как отдельных деталей, так и сложных сборочных моделей. Анализ параметрической модели с помощью анимации позволяет предотвратить появление ошибок еще на ранней стадии проектирования изделия. Использование в анимации перемещаемой камеры позволяет создать сложные реалистические ролики с эффектом приближения-удаления камеры или вращения точки просмотра.

В процессе анимации система отображает состояние модели при последовательном изменении ее параметров. Необходимым условием для создания анимации является наличие переменных, влияющих на изменяемые параметры детали.

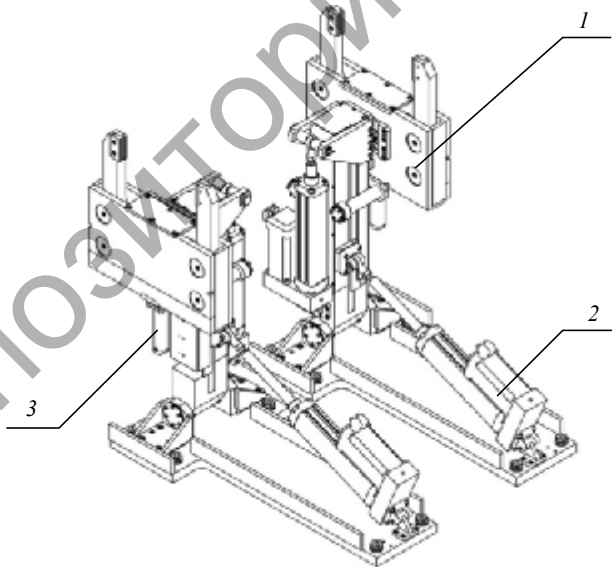
Одним из предпочтительных направлений для повышения качества и точности базирования является внедрение компьютерных систем, позволяющих оптимизировать эту операцию. Для проектирования таких систем разработан алгоритм и циклограмма, позволяющие с высокой точностью смоделировать технологический процесс лущения и геометрические параметры сортиментов. Имея в наличии специальные измерительные устройства и программные

комплексы для управления ЦЗУ, можно достичь высокой точности базирования, повышения производительности оборудования и экономии сырьевых и энергетически ресурсов.

5.1.3 Устройство позиционирования фанерных сортиментов с использованием ЧПУ

Позиционирующее устройство представляет собой сложную механическую систему, работающую по принципу координатного перемещения захватов. Конструкция устройства представлена на рисунке 5.8.

Для перемещения сортимента в установке использованы специальные электроцилиндры. Применение таких устройств позволит увеличить срок службы комплекса, повысить точность координатных перемещений. Для получения контролируемого линейного перемещения



1 — захват; 2, 3 — электроцилиндры позиционирования

Рисунок 5.8 — Координатное устройство базирования с ЧПУ

инженеры используют несколько основных вариантов. Один из наиболее эффективных — применение ролико-винтовой пары. Благодаря своей эффективности ролико-винтовая пара применяется в линейных серводвигателях.

Ролико винтовая пара представляет собой механизм для преобразования вращательного крутящего момента в линейное перемещение аналогично тому, как для этого используются пары с трапецидальной резьбой или шарико-винтовые пары. Однако в отличие от этих устройств, ролико-винтовые пары могут выдерживать большие нагрузки в течение тысячи часов эксплуатации в самых жестких условиях. В связи с этим ролико-винтовые пары идеально подходят для ответственных применений с непрерывным режимом работы.

Сравнение ролико-винтовой пары с гидравлическими и пневматическими системами. Используется для приспособлений, в которых ожидаются большие нагрузки или вокруг резьбового вала по планетарной схеме, что позволяет вращательное движение электродвигателя преобразовать в линейное перемещение вала или гайки.

Для применений, в которых действуют большие нагрузки или высокий коэффициент постоянства включения, сервоприводы *Exlar* с ролико-винтовой парой являются альтернативой использованию гидравлических или пневматических систем. Электромеханические устройства с ролико-винтовой парой обладают значительными преимуществами благодаря сильному упрощению управления. Для них не требуются сложные вспомогательные системы с клапанами, насосами, фильтрами и датчиками. В связи с этим сервоприводы *Exlar* занимают намного меньше места и обладают очень большим сроком службы, причем для них почти не требуется техническое обслуживание. Не возникает проблем с утечкой гидравлической жидкости. Значительно снижены уровни шума. Кроме того, для многих областей применения очень привлекательна гибкость компьютерного программируемого позиционирования.

Сравнение рабочих характеристик ролико- и шарико-винтовых пар. В связи с конструктивными факторами, число точек контакта в шарико-винтовой паре ограничивается размерами шариков. В конструкции ролико-винтовой пары *Exlar* с планетарным расположением роликов имеется намного больше точек контакта, чем возможно в шариковой винтовой паре сравнимых размеров. Вследствие большего числа точек контакта роликовой винтовой пары

имеют более высокую нагрузочную способность, а также улучшенную жесткость. С практической точки зрения это означает, что сервопривода *Exlar* с роликовой винтовой парой, выдерживающей заданную конструктором номинальную нагрузку, будет занимать намного меньше места, чем сервопривода других типов.

Перемещение за срок службы. Более высокая нагрузочная способность роликовой винтовой пары позволяет получить значительные преимущества с точки зрения срока службы. Относительное перемещение за срок винтовой пары позволяет получить значительные преимущества с точки зрения срока службы. Как видно из графика, для применения со средней нагрузкой 907 кг, приложенной к винту диаметром 30,2 мм (приблизительно) и резьбой с шагом 5,1 мм, прогнозируемый срока службы роликового винта в 15 раз больше.

Для типовой шарико-винтовой пары скорость вращения ограничивается значением $2\,000\text{ мин}^{-1}$, или меньше, что связано со столкновением шариков между собой при вращении канавки. В отличие от этого, ролики зафиксированы в планетарной конфигурации цапфами на торцах гайки, поэтому для них не действует это ограничение. В связи с этим ролико-винтовые пары могут вращаться со скоростью 5 000 об / мин и больше, что позволяет получать гораздо более высокие скорости линейного перемещения.

Для преобразования мощности электродвигателя в линейное перемещение серводвигатели компании *Exlar* использует специально разработанный механизм роликовой винтовой пары. Планетарные ролики, установленные вокруг выдвигающегося штока серводвигателя, входят в резьбу, которая точно нарезана на внутренней поверхности полого ротора серводвигателя. Линейное перемещение получается при точной синхронизации с вращением ротора. В связи с тем, что данный механизм роликовой винтовой пары характеризуется намного большей суммарной поверхностью контакта, такие серводвигатели обладают намного большим сроком службы и могут выдерживать большие нагрузки при более высоких скоростях, чем устройства аналогичных размеров на основе шариковой винтовой пары.

Разработанная компанией *Exlar* технология сегментированных пакетов пластин статора, получившая название *T-LAM*, позволяет получить более высокие значения непрерывного крутящего момента по сравнению с электродвигателями с традиционной намоткой.

Технология *T-LAM* заключается в использовании сегментов статора, каждый из которых содержит провода одной фазы, что позволяет получить наилучшие рабочие характеристики электродвигателя. Повышение КПД серводвигателей серии *GSX* является результатом ограниченного выделения тепла в описанной выше конструкции сегментированного статора. Отказ от лобовых частей обмотки статора и использование теплопроводящей заливки устраняет части, которые наиболее подвержены механическому износу в традиционных статорах. Конструкция также обладает следующими преимуществами: повышенная надежность, постоянные магниты из сплава неодим-железо-бор обеспечивают высокий момент на единицу площади, продолжительный срок службы (рис. 5.9; 5.10). Все перечисленные преимущества ролик-винтовой пары и серводвигателя на ее основе определили выбор таких устройств при разработке комплекса технологического оборудования.

5.2 Комплекс технологического оборудования для прецизионного базирования фанерных сортиментов

5.2.1 Конструкция и принцип работы комплекса для базирования сортимента

Лущение шпона — основная технологическая операция в производстве фанеры. От эффективности этой операции зависит работа всего предприятия. В фанерном производстве все операции в основном взаимосвязаны, что усложняет модернизацию оборудования и разработку новых технологий.

Основным направлением разработки ресурсосберегающей технологии по предложенному варианту является предварительная сортировка сырья по актуальным признакам и оптимизация процесса лущения. Особенностью проекта является частичная модернизация оборудования при неизменной структуре производства. В качестве основного этапа, который позволит значительно повысить выход шпона и уменьшить потребление электроэнергии, планируется внедрить компьютерную систему управления процессом сортировки базирования и лущения. Такие системы уже с успехом

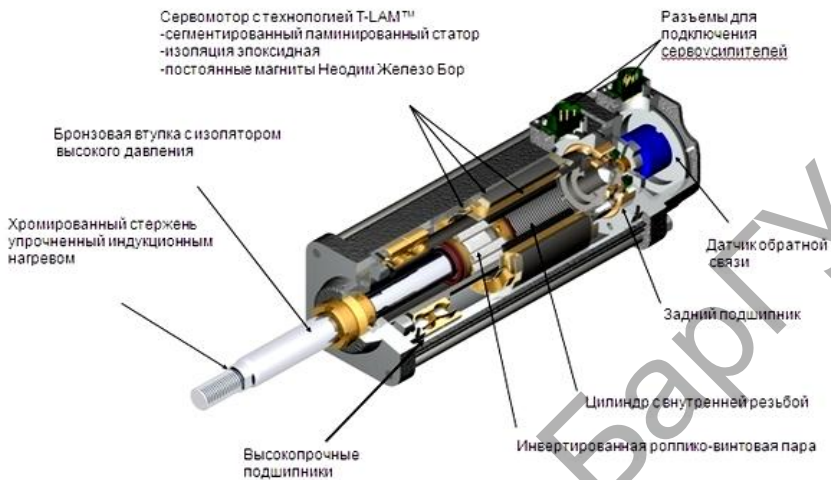


Рисунок 5.9 — Конструкция электроцилиндра

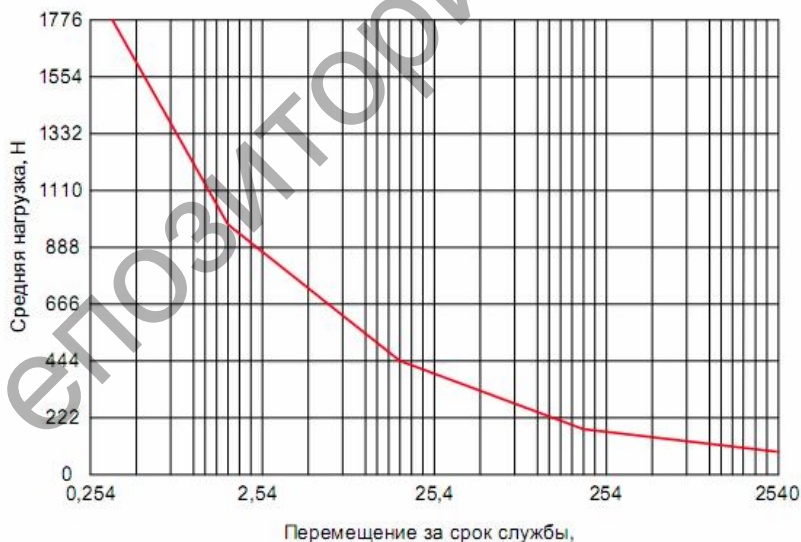
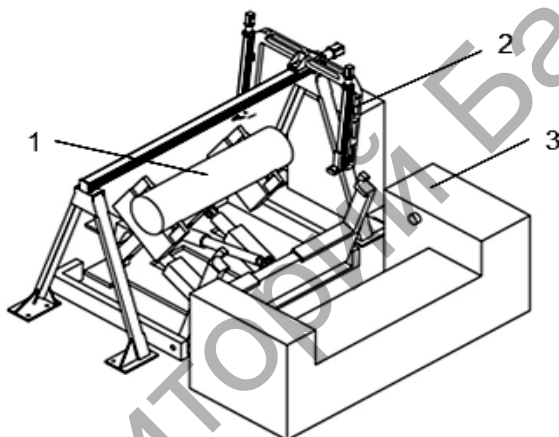


Рисунок 5.10 — График продолжительности работы модуля

используются на современных фанерных предприятиях за пределами СНГ. Однако их использование предполагает применение комплексов оборудования и специальных программных средств, установка которых на отечественных предприятиях представляет значительную сложность.

Комплекс (рис. 5.11) предназначен для автоматизации трудоемких операций обмера, учета и сортировки круглых лесоматериалов и позволяет регистрировать размерные характеристики с учетом индивидуальных особенностей формы каждого сортимента.



1 — сортимент; 2 — сканирующая система;
3 — лушильный станок

Рисунок 5.11 — Комплекс базирования фанерных сортиментов

Функциональные особенности работы комплекса базирования фанерных сортиментов. Работа комплекса базирования сортиментов осуществляется при взаимодействии различных функциональных устройств, обеспечивающих перемещение сортимента, движение сканирующих головок, загрузку и выгрузку сортиментов. Каждой из перечисленных операций соответствует программное перемещение рабочих органов.

Последовательность этих действий указана на рабочей части циклограммы (рис. 5.12).

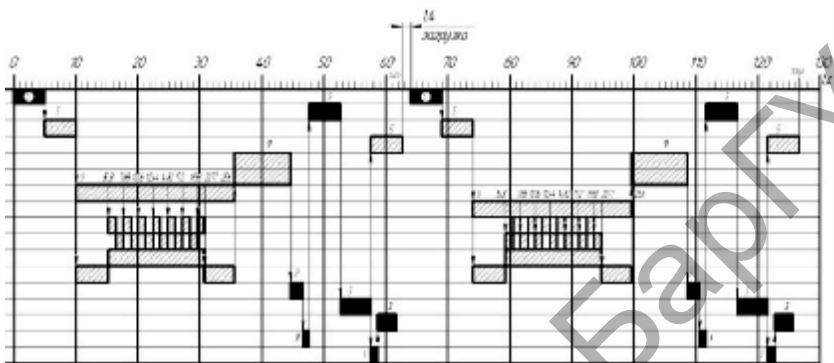


Рисунок 5.12 — Циклограмма работы комплекса в режиме реального времени

Взаимодействие устройств осуществляется в соответствии с основной частью циклограммы. В этой структурной части приводится алгоритм управления устройствами и их временное взаимодействие (см. рис. 5.12).

В соответствии с циклограммой работа оборудования осуществляется следующим образом:

- 1) заготовка с конвейера поступает на захватные устройства перемещения и загрузки сортиментов;
- 2) происходит зажим с помощью гидроцилиндров;
- 3) осуществляется поворот зажимных устройств с заготовкой в зону сканирования (при помощи электроцилиндров);
- 4) включаются датчики сканера и выполняется перемещение сканера вдоль заготовки (при этом формируется 6 поперечных сечений);
- 5) по команде от ЧПУ происходит сдвиг заготовки в пространстве с целью совмещения ее оси с осью эталона (при помощи электроцилиндров);
- 6) после выравнивания оси происходит передача заготовки в загрузочное устройство станка, разжимается зажим и возвращается в исходную позицию, одновременно с этим происходит

загрузка заготовки в станок с последующей компьютерной обработкой и оптимизацией. Обработка происходит в момент выполнения пунктов 1—5;

7) далее цикл повторяется, только в пункте 4 сканер движется в обратную сторону.

Полный цикл происходит при обработке двух сортиментов, при перемещении сканера в прямом и обратном направлении. Все элементы программируются с помощью стандартных процедур и учитывают специфику работы электроцилиндров (постпроцессоры выбираются с учетом фирмы производителя оборудования).

5.3 Повышение качества шпона при базировании

Повышение объемного выхода шпона и уменьшения количества отходов не должно повлиять на качество продукции (в данном случае лущеного шпона). При установлении оптимальной оси вращения сортиментов увеличение объемного выхода форматного и делового шпона происходит за счет более полного использования периферийной зоны древесного ствола. Существенное влияние на прочность древесины оказывает содержащаяся в клеточных оболочках влага (которую называют связанной) и отклонение от правильного расположения волокон. Для подтверждения эффективности базирования и сравнении показателей качества шпона по отношению к принятым нормам (в соответствии с требованиями ГОСТ 99-96) в лаборатории ФСК (г. Гомель) были проведены механические испытания полученного шпона на механическую прочность при растяжении.

Для получения данных о влиянии угла наклона волокон шпона по отношению к действию силы и количественных значений прочности шпона были проведены исследования березового шпона толщиной 0,55 мм. Образцы шпона для исследований изготавливались в соответствии с ГОСТ 20800. Для проверки качества листов шпона, отобранных «вслепую» из двух пачек (для различных способов базирования), были получены и исследованы образцы шпона с различным углом наклона волокон соответствующих размеров. Данные, полученные при испытании, приведены в таблице 5.2.

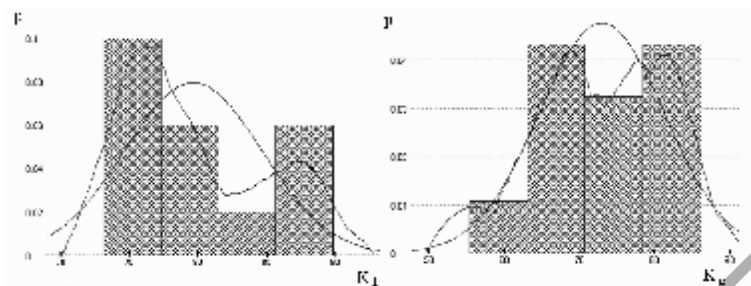
Т а б л и ц а 5.2 — Сравнительный анализ предельных значений прочности при растяжении шпона для различных способов базирования

Предел прочности (МПа) при растяжении для угла наклона волокон (механический способ базирования)			Предел прочности (МПа) при растяжении для угла наклона волокон (электронный способ базирования)		
0	45	90	0	45	90
70	3,2	6,4	78	2,8	5,1
65	6,4	12,3	74	6,4	4,8
56	8,2	2,3	75	13,2	3,45
73	5,9	6,4	77,4	12,9	5
65	7,3	6,8	80	11,8	6,3
67	11,3	1,7	77	7,9	3,9
78	9	4,4	76	9	5,6
81	14	6,4	82,3	12,3	6,3
73	6,2	1,5	74	6,2	4
85,5	12,6	8	86	15,2	5
80	13,2	12	87	14,9	6
82	10,5	1,8	89	10,4	7
73,0	9,4	5,8	79,6	10,2	5,2
<i>Примечание.</i> В нижней строке таблицы средние значения предела прочности выделены полужирным шрифтом.					

Для подтверждения достоверности полученных данных был проведен их статистический анализ с помощью гистограмм. Гистограммы, построенные по данным, полученным при растяжении вдоль волокон (рис. 5.13), были использованы для расчета визуальной оценки распределения значений в выборке.

На приведенных гистограммах показаны кривые распределения полученных значений для различных способов базирования. На рисунке 5.13, а показана гистограмма данных, полученных при испытании образцов шпона (традиционный способ базирования — K_{ϕ}).

Несовпадение кривых распределения для данного случая более существенно, чем для данных на рисунке 5.13, б. Это подтверждает стабильность и постоянство значений прочности шпона при базировании разработанным способом. Сравнение средних значений прочности получаемого шпона на станке ЛУ-17 с использованием принятого четырехточечного и разработанного способов базирования



а) — распределение K_f ; б) — распределение K_m ;

Рисунок 5.12 — Гистограммы выборочных распределений

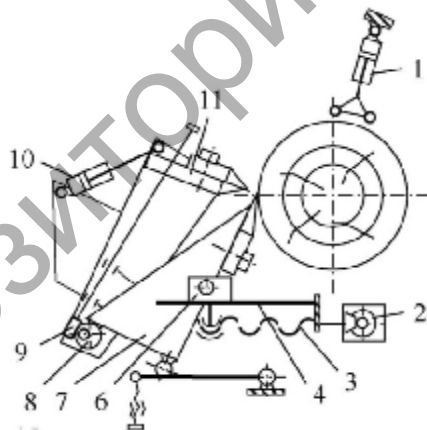
показало, что качество шпона во втором случае не только не ниже достигаемого в реальных условиях, но в ряде случаев превышает его. Исходя из результатов статистической обработки данных, можно допустить, что повышение качества шпона происходит за счет использования ценной наружной (заболонной) части сортамента и уменьшения выхода малопригодного шпона.

Результаты исследования подтверждают влияние особенностей сырья при лущении на объемный выход шпона. Используя перспективные способы базирования и современное программное обеспечение, можно достичь значительного увеличения объемного выхода, стабилизировать качество продукции и улучшить показатели деревообрабатывающего оборудования для лущения. Наоборот, уменьшение толщины шпона в середине ленты вызывается малой жесткостью карандаша: его изгибом и недостаточно эффективной конструкцией прижимных люнетов.

Экспериментально подтверждено, что при высокой жесткости шпинделей, за исключением небольшого периода стабилизации толщины, средний размер шпона остается постоянным в процессе лущения, а наблюдаемый характер и размах периодических колебаний напоминает характер и амплитуду ошибок перемещения суппорта, т. е. последние «записываются» на шпоне. При низкой жесткости шпинделей, вследствие увеличивающихся абсолютных значений колебаний упругих деформаций, балки и удлинения периода стабилизации средней толщины шпона, динамические

погрешности преобладают над кинематическими. В этом случае ошибки перемещения суппорта частично компенсируются упругими отклонениями шпинделей и достаточно явно не проявляются.

Влияние упругих перемещений системы «шпиндели — сортимент — суппорт» на точность лущеного шпона. Если бы станок, инструмент и обрабатываемый материал были абсолютно жесткими, их относительное положение, оставаясь неизменным, даже при непостоянстве действующих на них усилий обеспечило бы постоянство размеров деталей (рис. 5.14). Ограниченная жесткость шпинделей, древесины и суппорта приводит к изменениям среднего размера толщины шпона в начальный период лущения — (период стабилизации) и в конечной стадии лущения. Колебания среднего размера во многих отношениях нежелательны в основном из-за вызываемого ими в дальнейшем коробления фанеры. Однако наиболее нежелательны периодические колебания толщины шпона. Именно ими главным образом вызвана необходимость применения высоких давлений при склеивании и упрессовке фанеры.



- 1 — гидроцилиндр; 2 — привод ножевого суппорта; 3 — система винт-гайка;
4 — направляющая; 6...11 — элементы механизма перемещения прижимной линейки

Рисунок 5.14 — Конструкция суппорта лущильного станка

Основная причина образования периодических колебаний — непостоянство жесткости шпинделей в пределах одного оборота. Являясь функцией угла поворота, жесткость шпинделей, а следовательно, и упругие их перемещения непрерывно изменяются в процессе лущения по знаку и величине, т. е. возникает колебательный процесс. Наибольшая трудность заключается в том, что упругие деформации в узлах машин происходят в основном из-за деформации поверхности стыков, поэтому они не могут точно быть определены расчетом [59; 84; 87].

Влияние жесткости узлов лущильного станка на качество шпона. Наиболее эффективный путь снижения себестоимости клееной фанеры состоит в сокращении расхода сырья на производство единицы продукции. В настоящее время в среднем 10% готового продукта теряется в виде упрессовки в процессе склеивания фанеры в горячих прессах. Необходимость применения таких давлений в значительной мере обусловлена неравномерностью толщины лущеного шпона.

Расчеты показывают, что повышение точности лущеного шпона по толщине в 2 раза, по сравнению с существующей точностью, позволит уменьшить расход сырья на изготовление 1 м³ фанеры на 3,5% и за счет этого получить значительный экономический эффект.

Повышение равномерности толщины шпона, кроме того, даст возможность повысить его прочность, снизить шероховатость поверхности, а следовательно, уменьшить коробление фанеры и расход клеевых материалов.

Как известно, лущеный шпон по толщине имеет отклонения от расчетной средней величины, а также периодические колебания по длине ленты. Причины колебаний толщины лущеного шпона следующие: кинематические погрешности цепи подачи суппорта; ограниченная и непостоянная жесткость узлов лущильного станка; неравномерная плотность древесины, определяемая анизотропией ее свойств и колебаниями температуры прогрева; колебания значенных режимных факторов процесса лущения (степени обжига, заднего угла, параметров ориентации ножа и линейки) и др.

Поле рассеивания размеров шпона по толщине в результате влияния погрешностей изготовления отдельных звеньев кинематической цепи подачи суппорта, по данным профессора В. А. Куликова,

для эксплуатируемых типов лущильных станков составляет в среднем $6\sigma = 0,10 \dots 0,15$ мм. Эта величина на практике соответствует колебаниям размеров толщины шпона, полученного из одного сортимента, в пределах $0,6 \dots 0,10$ мм. Уменьшение кинематических погрешностей возможно при повышении точности изготовления отдельных звеньев механизма подачи суппорта и, в первую очередь суппортных винтов. Однако при жесткой связи между шпинделями станка и суппортом колебания толщины шпона, вызываемые неравномерностью перемещения режущего инструмента, неизбежны. Практически полностью устранить кинематические погрешности шпона позволяет способ лущения по принципу копирования при замыкании системы «шпиндели — сортимент — суппорт» постоянным усилием. Целесообразнее всего это осуществлять путем гидropriжима суппорта к разлущиваемому сортименту. Основные закономерности, присущие данному способу лущения, достаточно широко известны.

Влияние анизотропии древесины на величину периодических колебаний толщины шпона в целом незначительно, и, как показали опыты, теоретическое поле рассеивания для березового шпона $1,5$ мм не превышает величины $0,05$ мм.

Оптимальные условия гидротермической обработки сырья и лущения шпона позволяют практически устранить влияние на толщину шпона неравномерности прогрева древесины и различных факторов процесса резания.

Среди причин, вызывающих колебания толщины лущеного шпона, наибольший удельный вес составляют динамические погрешности, вызываемые ограниченной жесткостью отдельных узлов лущильного станка. На основании этого можно объяснить наблюдаемое нередко в практике лущения увеличение толщины шпона по краям ленты (к концу резания) на $0,05 \dots 0,07$ мм и соответствующее уменьшение в середине ленты. Это изменение средней толщины шпона не может быть следствием геометрии резания древесины при лущении. Расчеты, проведенные на основе зависимости толщины шпона S от величины подачи суппорта, показывают, что увеличение дополнительного угла, начиная от диаметра сортимента 600 мм до диаметра карандаша 70 мм, в пределах, отвечающих оптимальным условиям лущения, вызывает приращение толщины шпона всего на $0,0009 \dots 0,0025$ мм.

Увеличение толщины шпона по краям ленты на практике объясняется ограниченной жесткостью шпиндельных узлов станка и суппорта, обуславливающей наличие периода стабилизации толщины шпона, нередко распространяющегося на весь процесс.

5.4 Повышение эффективности работы луцильных станков

В технологическом процессе производства фанеры процесс лущения шпона имеет высокую степень механизации и автоматизации. Существующие на современном этапе развития производства разработки позволяют создать единую технологическую схему от автоматической подачи сортиментов с продольного конвейера в шпиндели лущильного станка до получения готового продукта на данной стадии технологического процесса, т. е. форматных листов сырого шпона. Рассмотрим возможность разработки алгоритма, означающего точное предписание, правило, в соответствии с которым должна соблюдаться последовательность операций на лущильном станке.

На рисунке 5.15 приведена блок-схема алгоритма управления процессом лущения шпона. При разработке алгоритма управления процессом лущения были приняты некоторые обобщения в связи с имеющимися различиями в последовательности операций и их содержанием. Поэтому была выбрана одинаковая для всех лущильных станков модель по кинематике, что позволило не нарушить общности выводов для различных моделей лущильных станков.

На блок-схеме приведена последовательность операций на лущильном станке [59]. При этом установлены моменты, на которые необходимо обратить внимание для ликвидации возможных отступлений от заданного ритма работы: зажим сортимента в шпинделях станка, процесс лущения, т. е. оцилиндровка сортимента, лущение шпона.

При первой операции не исключена возможность раскола сортимента. Следовательно, в предусмотренной цепочке операций необходимо по сигналу прервать последовательность операций и перевести цикл на выполнение другой операции, в данном случае на момент выброса карандаша (расколотого сортимента) из шпинделей лущильного станка. Все это должно осуществляться в автоматическом цикле.

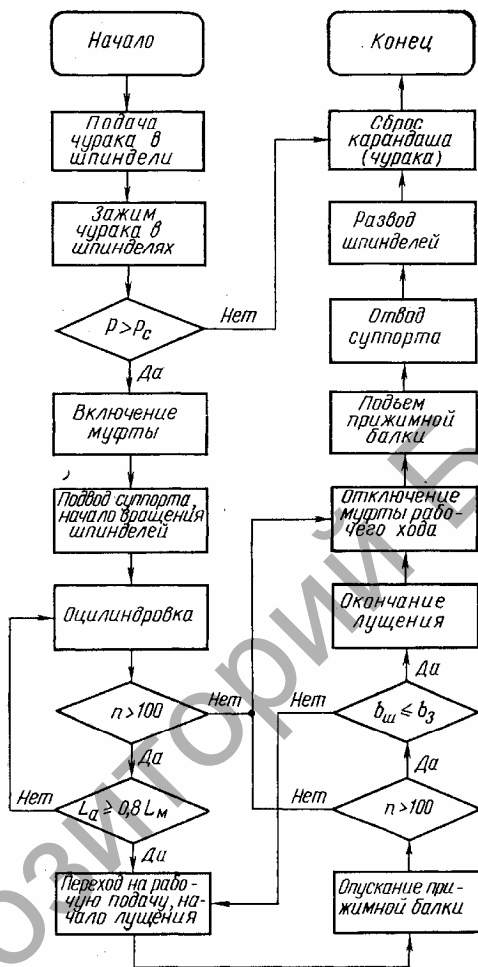


Рисунок 5.15 — Алгоритм управления процессом лущения сортиментов

В схеме управления лущильным станком, при выполнении рассматриваемой операции, должен быть заложен определенный параметр, например, падение давления в цилиндрах, управляющих движением шпинделей, т. е. $p > p_c$, где p — рабочее давление в цилиндрах в заданных пределах; p_c — давление в цилиндрах ниже

рабочего давления и показывающее отступление от нормального цикла работы.

Во второй операции возникает несколько важных моментов, определяющих непрерывность процесса. К ним относятся: возможность остановки сортимента при вращающихся шпинделях (при оцилиндровке и в процессе всего лущения сортимента), изменение толщины шпона при возникновении засора (в процессе лущения шпона). Эти моменты отображены на схеме (см. рис. 5.15).

Следовательно, в схеме управления лущильным станком необходимо предусмотреть контроль за вращением сортимента и соответствующие исполнительные механизмы.

Контроль за вращением сортиментов легко осуществляется при условии, что $n > 100$ об / мин. В случае, если $n < 100$ об / мин, срабатывают исполнительные механизмы, отключается муфта рабочего хода суппорта и включаются операции выброса сортимента из зоны лущильного станка.

Немаловажное условие — установление момента окончания оцилиндровки и переход в автоматическом цикле на процесс лущения шпона. Эта операция тесно связана с экономией сырья и ожидает своего решения.

Одним из факторов, определяющим конец оцилиндровки, может быть условие, когда ширина сплошной ленты шпона устанавливается определенным параметром.

Контроль за качеством шпона и, в частности, за возникновением засора при операции лущения шпона производится с помощью устройств контроля засора, т. е. толщина шпона не нарушается и остается в заданных параметрах. В случае нарушения указанных параметров автоматически прерывается процесс лущения, ликвидируется засор, и процесс лущения возобновляется до полного разлущивания сортимента.

Остальные операции, выполняемые на лущильном станке, не требуют особого контроля и легко могут выполняться в автоматическом цикле.

Рассмотренный алгоритм управления процессами лущения показывает, что решение и создание ряда исполнительных устройств, таких как автоматический отвод и подвод суппорта, контроль окончания оцилиндровки, регистрация и ликвидация засоров и контроль положения сортимента, позволят решить вопрос полной ав-

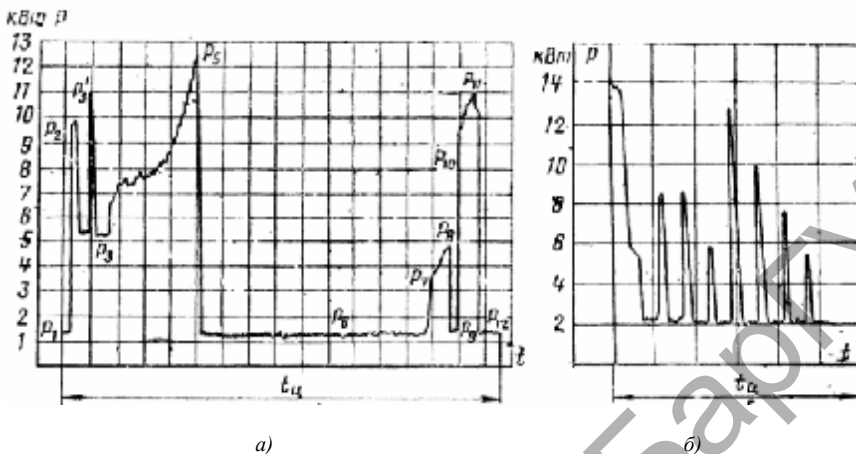
томатизации операций, выполняемых на лущильном станке. При этом снизится расход сырья на 1 м³ сырого шпона (устройство контроля окончания оцилиндровки), повысится качество шпона (устройство регистрации и ликвидации засоров) и повысится производительность лущильного станка (устройство автоматического отвода и подвода суппорта).

5.5 Технологические особенности эксплуатации электрооборудования лущильных станков

Правильный выбор мощности электрооборудования станков и линий имеет большое значение, так как от него зависят не только первоначальные затраты, но и размеры эксплуатационных расходов. Если будет выбран двигатель недостаточной мощности, то он не сможет обеспечить нормальную работу обслуживаемой машины; если же мощность окажется завышенной, то это ухудшит технико-экономические показатели механизма, приведет к удорожанию установки, повысит потери энергии и снизит коэффициент мощности асинхронного двигателя. При эксплуатации лущильного оборудования, как правило, учитываются объем производства и показатели, определяющие частоту выполнения отдельных операций. Любое электротехническое оборудование, работающее в повторно-кратковременном режиме, испытывает перегрузки.

Исходные данные для выбора мощности двигателя определяют по нагрузочным диаграммам (рис. 5.16). Нагрузочными диаграммами называются кривые зависимости мощности вращающего момента или тока от времени. Нагрузочные диаграммы строят для одного цикла работы электропривода, обычно состоящего из трех периодов: пуска (разгона), работы на установившейся частоте вращения и выбега (замедления). Во многих случаях цикл состоит из различных комбинаций этих периодов.

Необходимо различать нагрузочные диаграммы (мощности или момента) двигателя и нагрузочные диаграммы исполнительного механизма.



a — сплottedной машины; *б* — цепного колуна

Рисунок 5.16 — Нагрузочные диаграммы механизмов привода

Если двигатель работает с неизменной частотой вращения, то нагрузочная диаграмма будет отличаться от диаграммы исполнительного механизма только потерями в кинематических звеньях передачи. При переменной частоте вращения нагрузочная диаграмма двигателя будет отличаться от нагрузочной диаграммы исполнительного механизма из-за влияния, оказываемого маховыми массами на работу двигателя. Поэтому исходной для определения мощности двигателя является нагрузочная диаграмма исполнительного механизма, которую строят на основе заданного хода производственного процесса—длительности рабочих периодов нагрузки, холостого хода или пауз, а также величины мощности или момента нагрузки.

Нагрузочная диаграмма, построенная для данного исполнительного механизма с определенным двигателем, позволяет судить о степени его использования. На практике о степени загрузки двигателя иногда судят по показаниям амперметра, сравнивая их с номинальным током двигателя. Однако такой способ не точен. Более точные нагрузочные диаграммы можно получить при помощи самопишущих ваттметров, вычерчивающих кривую изменения мощности.

5.6 Автоматизированный электропривод луцильных станков

Основными требованиями, которым должен удовлетворять электропривод лущильного станка, являются: обеспечение необходимой частоты вращения шпинделей лущильного станка (определяющий фактор производительности лущильного станка); минимальное время переходных процессов (переход с одной ступени скоростного режима на другой, выход на рабочий режим при пуске электропривода, особенно под нагрузкой); высокая надежность при повторно-кратковременном режиме работы.

К электроприводам современных лущильных станков стали предъявлять и требования обеспечения оптимальной скорости резания при условии плавного изменения частоты вращения шпинделей лущильного станка.

Скорость резания является одним из основных параметров, характеризующих производительность лущильного станка. У лущильных станков с постоянной скоростью резания частота вращения шпинделей увеличивается плавно по гиперболической кривой по мере уменьшения диаметра фанерного сортимента, а при неизменной частоте вращения шпинделя скорость резания пропорционально понижается с уменьшением диаметра фанерного сортимента.

На рисунке 5.17 приведена скоростная диаграмма лущильного станка модели ЛУ 17-4. Как видно из диаграммы, при $\omega = \text{const}$ скорость резания пропорционально понижается. С целью обеспечения наибольшей скорости резания на этих лущильных станках применяются трехскоростные асинхронные электродвигатели АО-93. Это позволило уменьшить предел изменения скорости резания более чем в 2 раза.

Многоскоростные электродвигатели применяют и на лущильных станках ЛУ 17-10 (Россия), 2HV-66 и 2HV-78 фирмы Raute (Финляндия), FRS 16/26 (Германия) и ряде других. Причем лущильный станок ЛУ 17-10 имеет сменные шкивы диаметром 224, 280 и 370 мм, что позволяет получать 9 ступеней частоты вращения шпинделей, максимальная из которых составляет 5 с^{-1} .

Повышение частоты вращения шпинделей позволяет увеличить производительность лущильных станков и делает экономически выгодным использование электроприводов с плавным изменением

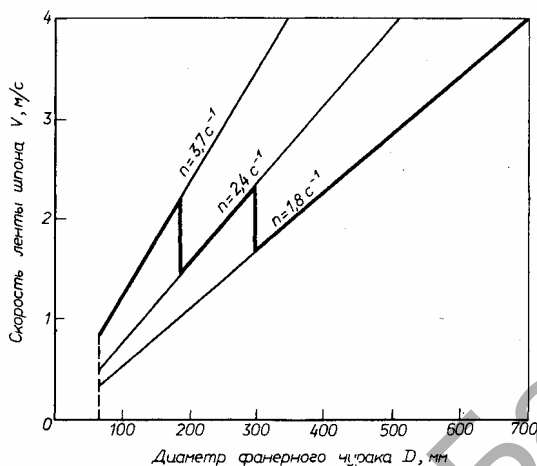


Рисунок 5.17 — Скоростная диаграмма лущильного станка марки ЛУ 17-4 (n — частота вращения шпинделя)

частоты вращения шпинделей. В настоящее время достигнута частота вращения шпинделей 9 с^{-1} (лущильные станки фирмы *Raute*) и продолжают работы по дальнейшему ее увеличению.

Важным элементом в электроприводах, особенно с многоскоростными асинхронными электродвигателями, является муфта сцепления. В качестве такой муфты применяют электромагнитные фрикционные муфты, порошковые электромагнитные и электромагнитные муфты скольжения.

Электромагнитные фрикционные муфты бывают, как правило, сцепными и обладают предохранительными свойствами. Наиболее распространены многодисковые фрикционные муфты. В них сцепление фрикционных дисков, связывающих ведомую и ведущую части муфты, происходит под действием сил магнитного притяжения, возникающих при пропускании тока через обмотку катушки возбуждения муфты.

Время срабатывания электромагнитных многодисковых фрикционных муфт в значительной степени зависит от момента нагрузки. В современных электроприводах для плавного регулирования скорости вращения шпинделя применяются специальные преобразователи

частоты. Полупроводниковые элементы, входящие в состав таких преобразователей, в значительной степени способствуют снижению расхода электроэнергии.

5.7 Влияние точности базирования на потребление электроэнергии

Большое влияние на потребление электроэнергии оказывает состояние оборудования, срок его эксплуатации, степень износа режущего инструмента. Однако для лущильного оборудования важным признаком, способствующим экономии энергоресурсов, является точность базирования при лущении. Эта величина определяет также потребление энергии вспомогательными устройствами. В соответствии с проведенными исследованиями потребление энергии зависит от зоны лущения и геометрических параметров фанерных сортиментов, их среднего диаметра. Нагрузочная диаграмма исполнительного механизма, который выполняет несколько операций, приведена на рисунке 5.18.

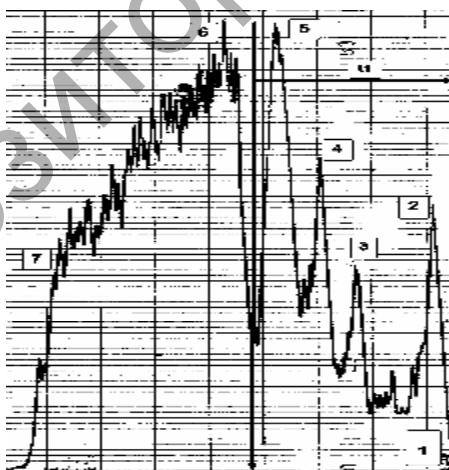


Рисунок 5.18 — Нагрузочная диаграмма привода главного движения лущильного станка (один сортимент)

На рисунке показана диаграмма изменения тока в цепи обмоток двигателя, который установлен в механизме резания луцильного станка. Анализируя график изменения тока, можно условно разбить его на участки. В соответствии с диаграммой лущение шпона представляет собой совокупность двух операций: оцилиндровки и лущения. На участках 1—5 выполняется предварительная оцилиндровка. Этот процесс требует от оператора практического опыта и обычно управляется «вручную», при помощи кнопочной станции. Пиковые участки 2—5 отображают максимальные скачки тока, связанные со срезанием неровностей и овальных (закомелистых) участков на поверхности сортиментов. Участок графика, заключенный между точками 6 и 7 соответствует процессу лущения. В результате исследований нагрузочных диаграмм для различных сортиментов было выявлено, что при рассчитанных с помощью компьютерных моделей координатах оси вращения, значительно снижается энергопотребление при переработке сортиментов. Это позволит оптимизировать работу электропривода станка, а при использовании частотных преобразователей уменьшить время переработки сортиментов и уменьшить расход электроэнергии при лущении каждого сортимента.

5.7.1 Источники экономии ресурсов при применении частотных преобразователей

При применении частотных преобразователей можно выделить прямые и косвенные источники экономии.

К прямому источнику экономии относится: экономия электроэнергии за счет повышения эффективности работы электропривода в режиме переменной нагрузки.

К косвенным источникам экономии относятся следующие: снижение расхода электроэнергии при использовании прецизионных базирующих устройств; снижение расходов, направленных на профилактический и капитальный ремонт оборудования, в связи с уменьшением динамических нагрузок и повышения плавности регулирования скорости.

Точный размер косвенных источников экономии не может быть корректно определен до момента внедрения преобразователя,

так как это связано с различными факторами, оказывающими воздействие на систему водоснабжения (водопотребление в конкретные периоды, общее давление в системе и т. д.) и может быть оценено только после начала его работы.

Наряду с изложенными составляющими энергосбережения, которые в конечном счете учитываются и оцениваются, применение частотно-регулируемого привода дает ряд дополнительных преимуществ: 1) возможность создавать при необходимости момент выше основного; 2) возможность комплексной автоматизации лущильного станка.

По данным специалистов института *EPRI* (США) эффективность ресурсосбережения при использовании частотно-регулируемого привода соизмерима с экономическим эффектом от энергосбережения. В отечественной практике рекомендуется использовать коэффициент увеличения экономического эффекта $K = 1,3$.

Технология управления асинхронными двигателями, обеспечивающая энергосбережение, обусловлена их конструктивными особенностями и техническими параметрами, а также характеристиками нагрузки.

Ниже приведены механические характеристики асинхронного электродвигателя. Это зависимость тягового момента двигателя от частоты его вращения. Также показаны подобные данные при различных частотах питающего напряжения. При этом для обеспечения согласования нагрузок, при уменьшении частоты, во столько же раз уменьшается напряжение питания. Использование режима изменения частоты питающего напряжения позволяет обеспечить номинальный момент вращения практически независимо от частоты вращения вала. В то же время снижение напряжения питания обеспечивает уменьшение потребляемого тока и, соответственно, экономии электроэнергии.

На рисунке 5.19 также показано изменение механической характеристики двигателя при уменьшении питающего напряжения на 20% и неизменной частоте переменного тока.

Использование частотно-регулируемого электропривода в лущильных станках имеет отличительные особенности. Это связано с неравномерной нагрузкой при лущении сортиментов разного диаметра и формы. Возможность управления электроприводом при помощи компьютерной системы позволяет гибко регулировать потребление энергии и плавно переходить на другой режим обработки.

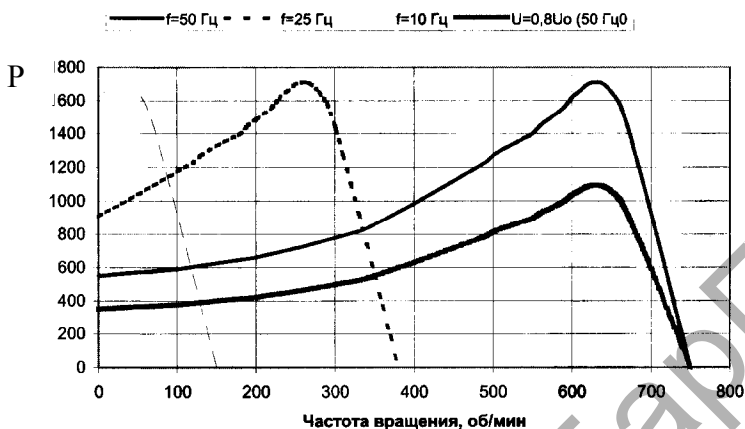


Рисунок 5.19 — Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании

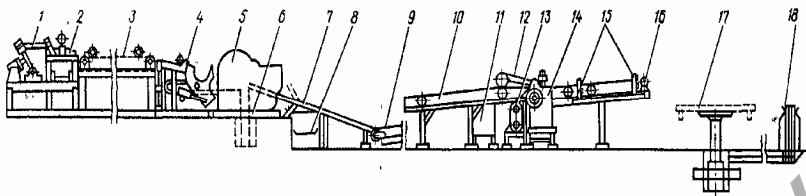
5.8 Применение ресурсосберегающей технологии на участке лущения шпона

Лущение шпона — основная технологическая операция в производстве фанеры. От эффективности этой операции зависит работа всего предприятия. В фанерном производстве все операции в основном взаимосвязаны, что усложняет модернизацию оборудования и разработку новых технологий.

Совмещение операций производится обычно с помощью технологического оборудования, составляющего специализированную линию. На предприятиях Республики Беларусь используется несколько типов линий.

Для совместного использования нескольких лущильных станков и уменьшения транспортных затрат в производстве шпона в настоящее время применяются полуавтоматические линии «лущение — рубка», или «лущение — сушка — рубка шпона» (рис. 5.20).

В состав линий «лущение — рубка шпона» входят механизмы подачи сортиментов на лущильный станок, лущильный станок, механизмы передачи ленты шпона на ножницы (для рубки ее на листы), ножницы (для рубки) и устройства укладки листов в стопы. Экспериментальные работы выполнялись на лущильном станке *Raute*, входящем в состав линии «лущение — рубка шпона».



1 — сбрасыватель; 2 — продольный конвейер; 3 — накопитель сортиментов; 4 — центровочно-загрузочное приспособление; 5 — луцильный станок 2HV-66; 6 — конвейер карандашей; 7 — роликовый конвейер; 8 — ленточный конвейер для отходов шпона; 9 — промежуточный ленточный конвейер; 10 — подающий ленточный конвейер; 11 — пульт управления; 12 — прижимное устройство; 13 — привод; 14 — пневматические ножницы; 15 — штанги с фотоэлементами; 16 — разгрузочный конвейер; 17 — подъемник; 18 — воздухосорбник

Рисунок 5.20 — Схема линии «лушение — рубка шпона» фирмы *Raute*

Линия, выполненная на основе станка 2HV-66, имеет устройство поштучной подачи и ножницы типа APL с электронным автоматическим управлением [97—100].

Работает линия следующим образом: сортименты, с помощью продольного конвейера 2 подаются к линии, где с помощью пневмосбрасывателя 1 поступают на цепной накопитель 3. С накопителя 3 сортименты по одному поступают в центровочно-загрузочное приспособление 4, которое направляет их на луцильный станок для зажима шпинделями. После зажима сортимента начинается процесс лушения. В начале лушения (оцилиндровки), шпон-рванина сбрасывается на конвейер 8 (роликовый конвейер 7 поднят вверх). После завершения оцилиндровки на роликовый 7 и ленточный 9 конвейеры подается кусковой шпон, где его вручную снимают для прирубки. Конвейер 10 направляет сплошную ленту шпона через прижимное устройство 12 на ножницы 14, где, в зависимости от установки штанг 15 с фотоэлементами, лента шпона рубится на листы определенных размеров. Форматные листы шпона конвейером 16 сбрасываются на стол подъемника 17, который по мере накопления стопы опускается вниз. Управляют работой линии с пульта луцильного станка и отдельного пульта 11. В зависимости от настройки луцильного станка скорость конвейера 10 можно плавно регулировать приводом 13. На этих линиях, из-за отсутствия специального устройства для формирования стопы, листы

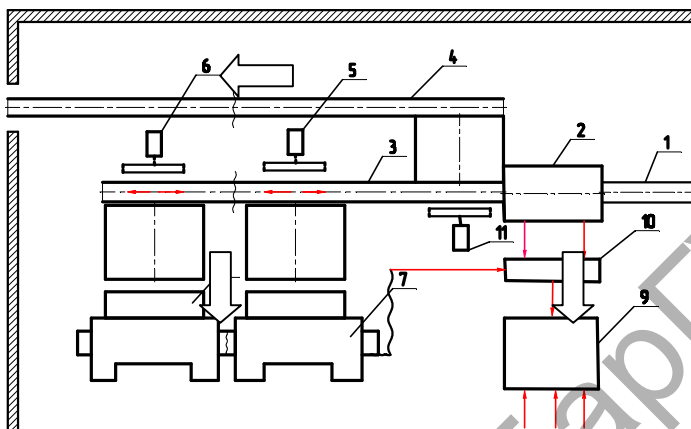
шпона на подъемнике укладываются в стопу с большими смещениями, один относительно другого. При транспортировании такой стопы, выступающие отдельные листы частично разрушаются по краям. Наиболее проблемным участком на этой схеме является участок подачи сортиментов в станок для базирования и дальнейшей обработки [97—100].

Основным направлением ресурсосберегающей технологии по предложенному варианту является предварительная сортировка сырья по актуальным признакам и оптимизация процесса лущения. Для реализации данного проекта необходимо установить дополнительное оборудование и ПО. Особенностью проекта является частичная модернизация оборудования при неизменной структуре производства. В качестве основного этапа, который позволит значительно повысить выход шпона и уменьшить потребление электроэнергии, планируется внедрить компьютерную систему управления процессом сортировки базирования и лущения. Такие системы уже с успехом используются на современных фанерных предприятиях за пределами СНГ. Однако их использование предполагает применение комплексов оборудования и специальных программных средств, установка которых на отечественных предприятиях представляет значительную сложность.

Комплекс предназначен для автоматизации трудоемких операций обмера, учета и сортировки круглых лесоматериалов и позволяет регистрировать размерные характеристики с учетом индивидуальных особенностей формы каждого сортимента.

В результате исследований разработана ресурсосберегающая технология лущения на основе точного базирования сортиментов и составлено техническое задание для разработки опытно-промышленного базирующего устройства координатного типа с электронным управлением.

Сортименты поступают в цех по конвейеру 1. Измерение и фиксация координат поверхности производится в координатно-измерительном устройстве 2. После измерения координат поверхности сортимента на экране монитора оператора отслеживается последовательность операций и объемные характеристики предполагаемых зон лущения (рис. 5.21). В качестве примера на рисунке 5.22 показано распределение объемных зон сортимента, включая промежуточные. Построение зон, вычисление их объема и коэффициентов



1, 3, 4 — продольный конвейер; 2 — координатно-сканирующее устройство;
 5, 6, 11 — сталкивающее устройство; 7 — лущильный станок;
 8 — базировочные устройства (X-Y); 9 — компьютерная система;
 10 — интерфейсный блок

Рисунок 5.21 — Схема размещения оборудования на участке лущения

объемного выхода форматного, делового и кускового шпона производится на основе параметров базовой модели, что дает возможность выполнять учет продукции и, при необходимости, осуществлять управление технологическим процессом.



Рисунок 5.22 — Компьютерные модели различных зон сортимента при лущении

В соответствии с компоновочной схемой (см. рис. 5.21), после предварительного обмера и оцифровывания, некондиционные сортаменты подаются по конвейеру в отдельный цех для переработки. При наличии специального оборудования и технологии сортаменты, поступающие для переработки, могут служить источником дополнительной продукции фанерного предприятия.

Сортаменты, параметры которых соответствуют нормативным значениям, по конвейеру 3 поступают в базирующее устройство 8, снабженное координатной системой, где производится их ориентация в соответствии с управляющей программой. Захват и закрепление сортаментов в рабочих шпинделях производится с помощью манипуляторов, входящих в состав лущильных станков 7. Контроль и корректировка работы автоматизированных устройств осуществляется с помощью командных приборов на пульте управления, связанных с компьютерной системой 9. Для реализации разработанной технологии может использоваться стандартное оборудование, применяемое в лущильных цехах. Дополнительно устанавливаются: базирующее устройство 8, компьютерная система 9 и координатное сканирующее устройство 2. В качестве координатно-сканирующего устройства (с небольшими доработками) может использоваться измерительный комплекс, разработанный в Белорусском государственном технологическом университете.

5.9 Сравнительный анализ технологических процессов лущения шпона

В соответствии с целью выполненной работы, разработанные и предложенные технологические решения направлены на экономию сырьевых ресурсов. По этой причине при разработке технологии наибольшее внимание уделялось снижению количества отходов при лущении шпона.

По классификации ЦНИИФа древесные отходы фанерно-спичечного производства по структуре делятся на крупномерные, кусковые и мягкие; по наличию коры — на отходы из окоренного и неокоренного сырья; по природному составу — на хвойные, мягколиственные, твердолиственные, смешанные; по влажности — на влажные и сухие. К крупномерным отходам относятся некондиционные

кряжи и сортименты, отрезки долготья, кряжей и сортиментов длиной 0,3...1,3 м и карандаши; к кусковым отходам — отрезки длиной до 0,3 м, шпон-рванина, куски шпона и кромки спичечного шпона шириной до 15 мм; к мягким — опилки и спичечная крошка. Некондиционные кряжи и сортименты, отрезки, шпон-рванина и опилки могут содержать кору. Отходы окорки фанерного и спичечного сырья кроме коры содержат до 3...6 % древесины периферийной части ствола.

Отличительной особенностью разработанной технологии, по сравнению с применяемой на предприятии в данное время, является возможность учета коры при оцилиндровке. Эта возможность может быть эффективно использована при использовании компьютерных методов планирования производства. Как было указано выше, кора сортимента до выполнения лущения может быть представлена в виде объемной зоны с определенными геометрическими характеристиками. Размеры и расположение этой зоны в значительной степени влияют на точность базирования и объемный выход форматного и делового шпона. Разработанный способ точной ориентации сортимента (базирования) позволяет учесть не только геометрическую форму сортимента, но и более эффективно использовать высококачественную периферийную (заболонную) зону древесного ствола.

Переработка крупномерных отходов в технологическую щепу, как показала практика, — основное и наиболее эффективное направление использования некондиционных кряжей и сортиментов. Процесс переработки отходов зависит от возможностей конкретных предприятий и включает в себя следующие основные операции: подготовку отходов к измельчению; измельчение отходов в рубительных машинах; складирование и сортирование щепы; доизмельчение крупной фракции; складирование готовой щепы. При наличии специального оборудования и технологии, сортименты, поступающие для переработки, могут служить источником дополнительной продукции для фанерного предприятия. Для измельчения массивных отходов в щепу могут быть использованы дисковые рубительные машины с наклонной подачей сырья МРШМО, МРНП-30, МРНП-40-1, МРН-50, МРН-100 с верхним выбросом щепы, МРНП-30-Н с нижним выбросом щепы и машины с горизонтальной подачей сырья МРГ-20Н, МРГ-40Н с нижним выбросом

щепы и некоторые другие. Для измельчения кусковых отходов могут использоваться барабанные рубительные машины с принудительной подачей ДШ-1М, ДУ-2, ДУ-2А, ДРС-1М, ДШ-2, ДШ-4, МРБ-10 и машины с гравитационной подачей, а также машины финских фирм «Варкауус», «Рауте» и западногерманских фирм «Клекнер» и «Майер».

Сравнительный анализ различных технологических решений, реализуемых при лущении шпона, позволяет систематизировать и представить основные преимущества разработанной и апробированной на предприятии ресурсосберегающей технологии.

Основные преимущества разработанной технологии (прецизионное координатное базирующее устройство): экономия фанерного сырья; увеличение объемного выхода шпона за счет точного базирования сортиментов; возможность информационного учета сортиментов и объема каждой зоны лущения с последующей записью в централизованную базу данных; непрерывный контроль выпускаемой продукции и всех видов потерь древесины; повышение качества шпона за счет использования ценной наружной (заболонной) части сортимента и уменьшения выхода малопригодного шпона.

Все вышеперечисленные преимущества обеспечивают экономию сырьевых ресурсов при лущении шпона и создают условия для увеличения эффективности производства лущеного шпона и фанеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии рассматривается системный подход в решении задач разработки ресурсосберегающей системы в производстве сырого лущеного шпона, основанной на использовании нового оборудования, оснащенного современными высокопроизводительными механизмами, управление которым осуществляется с помощью системы с числовым программным управлением.

Приведено описание и анализ основных методов повышения эффективности производства лущеного шпона. Рассмотрен способ базирования фанерных сортиментов, на основе многопараметрических моделей, позволяющий не только уменьшить количество отходов при лущении, но и повысить энергоэффективность оборудования.

Рассмотрены возможности применения комплексной системы повышения энергоэффективности и ресурсосбережения предприятия, основанной на точном измерении параметров сырья, оптимальной системе базирования, качественной сортировке сортиментов с помощью современных оптических и ультразвуковых преобразователей.

Реализация комплексной системы позволит уменьшить объем потерь, связанных с неточным базированием сортиментов в среднем на 3...5%, также уменьшатся энергетические затраты, связанные с обработкой некачественной древесины (поражения сортиментов внутренней стволовой гнилью) ориентировочно на 3...7%.

В результате установки комплекса для прецизионного базирования сортиментов существенно повысится качество выпускаемого шпона. Использование периферийной зоны сортимента при установке устройств для точного базирования возрастет в среднем на 2...3%.

Перечисленные факторы подтверждают необходимость дальнейшей разработки и внедрения в производственный процесс специального оборудования и технологий, охватывающих комплекс производственных задач, позволяющих уменьшить потери сырья и затраты энергетических ресурсов.

Автор надеется, что данная книга будет полезна не только научным сотрудникам, аспирантам и студентам, но и инженерно-техническим работникам предприятий и проектных организаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Адлер, Ю. П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 279 с.
2. *Амалицкий, В. В.* Справочник молодого станочника по деревообработке / В. В. Амалицкий, В. И. Любченко. — М. : Высш. шк., 1978. — 240 с.
3. *Анучин, Н. П.* Лесная таксация / Н. П. Анучин. — М. : [б. и.], 1977. — 512 с.
4. *Ахназарова, С. Л.* Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — М. : [б. и.], 1978. — 319 с.
5. *Бершадский, А. Л.* Расчет режимов резания древесины / А. Л. Бершадский. — М. : [б. и.], 1966. — 176 с.
6. *Бокшанин, Ю. Р.* Обработка и применение древесины лиственницы / Ю. Р. Бокшанин. — М. : [б. и.], 1973. — 199 с.
7. *Бурсин, Е. Е.* Ценообразование в лесопильнодеревообрабатывающей промышленности / Е. Е. Бурсин. — М. : [б. и.], 1977. — 206 с.
8. *Вагнер, Г.* Основы исследований операций : [в ? т.] / Г. Вагнер; пер. с англ. — М. : [б. и.], 1973. — Т. 2. — 488 с.
9. *Варакин, Ю. М.* Автоматизация лесопильного производства / Ю. М. Варакин. — М. : Лесная пром-сть, 1970. — 256 с.
10. *Вараксин, Ф. Д.* Основные направления технического прогресса лесной и деревообрабатывающей промышленности / Ф. Д. Вараксин, Г. К. Ступнев. — М. : [б. и.], 1974. — 399 с.
11. *Васечкин, Ю. В.* Технология и оборудование производства фанеры / Ю. В. Васечкин. — М. : Лесная пром-сть, 1983. — 312 с.
12. *Верхов, И. Ф.* Машины и механизмы лесозаготовок / И. Ф. Верхов, Г. Ф. Шестаковский, Ю. И. Пучков. — М. : Лесная пром-сть, 1975. — 320 с.
13. *Виллистон, Э.* Автоматизированные системы управления в лесопилении / Э. Виллистон. — М. : Экология, 1991. — 303 с.
14. *Вознесенский, В. А.* Принятие решений по статистическим моделям / В. А. Вознесенский, А. М. Ковальчук. — М. : [б. и.], 1978. — 192 с.
15. *Вознесенский, В. А.* Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. — М. : [б. и.], 1981. — 263 с.
16. *Гмурман, В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. — М. : [б. и.], 1977. — 479 с.
17. *Гнеденко, Б. И.* Элементарное введение в теорию вероятностей / Б. И. Гнеденко, А. Я. Хинчи. — М. : [б. и.], 1970. — 166 с.
18. *Горский, В. Г.* Планирование промышленных экспериментов (модели статистики) / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер. — М. : [б. и.], 1974. — 264 с.

19. Горский, В. Г. Некоторые методические ошибки при обработке результатов эксперимента / В. Г. Горский // Всесоюзная научная конференция по планированию и автоматизации эксперимента. — М. : [б. и.], 1970. — С. 25.

20. Горский, В. Г. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики) / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер, А. М. Талалай. — М. : [б. и.], 1978. — 112 с.

21. Гранитов, Г. И. Электрооборудование деревообрабатывающих станков / Г. И. Гранитов, Н. И. Сосипатов. — М. : Машиностроение, 1982. — 144 с.

22. Гуров, С. В. Алгоритм определения экономической оси сортамента при производстве шпона / С. В. Гуров // Новое в технике и технологии производства фанеры, древесностружечных плит и древесностлоистых пластиков : сб. трудов ЦНИИФ. — М. : [б. и.], 1979. — Вып. 11. — С. 34—39.

23. Гухман, Е. С. Анализ расхода сырья и пути улучшения его использования / Улучшение использования сырья в производстве фанеры и древесностружечных плит / Е. С. Гухман, Л. И. Иоскевич // Улучшение использования сырья в производстве фанеры и древесностружечных плит. — М. : ВНИИПИЭИлеспром, 1970. — С. 20—31.

24. Гухман, Е. С. Совершенствование планирования объема производства фанеры / Е. С. Глухман // Новое в технике и технологии фанеры и пластиков. — М. : [б. и.], 1972. — С. 118—122.

25. Гухман, Е. С. Пути повышения сортовых выходов фанеры / Е. С. Глухман. — М. : [б. и.], 1962.

26. Дукарский, О. М. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ / О. М. Дукарский, А. Г. Закурдаев. — М. : [б. и.], 1977. — 244 с.

27. Дунаев, В. Ф. Исследование операции обрезки пиломатериалов с разработкой механизмов центрирования и обмера : канд. диссертация / В. Ф. Дунаев. — М. : МЛТИ, 1977. — 218 с.

28. Дьяконов, А. А. Интенсификация лесопильного производства / А. А. Дьяконов, А. М. Сумароков, Б. А. Шатило. — М. : Лесная пром-сть, 1988. — 168 с.

29. Ерохина, Л. С. Влияние ошибок в намеченных уровнях на величину коэффициентов регрессии при планировании эксперимента / Л. С. Ерохина, Т. К. Савченко // Всесоюз. сб. : оптимизация металлург. процессов. — М. : [б. и.]. — Вып. 5. — 1971. — С. 189—195.

30. Жодзинский, Г. А. Автоматизированная система сортировки шпона / Г. А. Жодзинский, В. Е. Воскресенский, В. А. Вторин // Механизация и автоматизация деревообрабатывающих пр-в : межвуз. сб. науч. трудов по механ. технологии древесины. — Красноярск : [б. и.], 1975. — С. 13—20.

31. Жуков, С. Н. Пьезоэлектрическая керамика : принципы и применение / С. Н. Жуков. — Минск : ФУАинформ, 2003. — 112 с.

32. Зайцева, Л. А. К вопросу об экономической эффективности комплексной переработки тонкомерного сырья : в 3 кн. / Л. А. Зайцева, С. П. Трофимов. — Кн. 3 : Механическая технология древесины. — Минск : Выш. шк., 1974. — С. 52—59.

33. Закс, Л. Статистическое оценивание : пер. с англ. / Л. Закс. — М. : [б. и.], 1976. — 598 с.

34. Зедгидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. М. Зедгидзе. — М. : [б. и.], 1976. — 390 с.

35. *Каган-Барский, Л. Ш.* Измеритель объема круглых лесоматериалов / Л. Ш. Каган-Барский, А. И. Гогнидзе // *Деревообрабатывающая пром-сть.* — 1983. — № 2. — С. 16-17.

36. *Калитеевский, Р. Е.* Математическое моделирование производственных процессов лесопиления при проектировании крупных лесопромышленных комплексов / Р. Е. Калитеевский, В. И. Сокоушин, Я. В. Шпигельман // *Деревообрабатывающая пром-сть.* — 1976. — № 4. — С. 21—23.

37. *Калитеевский, Р. Е.* Методика расчета связей бревнопильных и сортирующих линий в автоматизированных потоках лесопильных цехов / Р. А. Калитеевский, В. А. Втюрин, А. Е. Шпигельман // *Сб. трудов ЦНИИМОД.* — 1975. — Вып. 32. — С. 65—68.

38. *Калитеевский, Р. Е.* Автоматизация технологических процессов лесопиления / Р. Е. Калитеевский. — М. : [б. и.], 1964. — 243 с.

39. *Калитеевский, Р. Е.* Вопросы проектирования лесозэкспортных предприятий с пакетной отгрузкой пиломатериалов : в 3 кн. / Р. Е. Калитеевский, Э. Г. Вигель. — Кн. 3 : Технологии и оборудование деревообрабатывающего про-ва : межвузов. сб. — Л. : [б. и.], 1976. — С. 91—95.

40. *Калитеевский, Р. Е.* Математическое моделирование производственных процессов на складах сырья лесозаводов / Р. Е. Калитеевский, Д. Л. Мороз, С. Б. Залегаллер // *Механизация и автоматизация про-ва.* — 1976. — № 10. — С. 37—40.

41. *Калитеевский, Р. Е.* Некоторые технологические вопросы разработки измерительных преобразователей толщины и ширины сырых пиломатериалов / Р. Е. Калитеевский, Е. В. Спиридонов // *Технология и оборудование деревообрабатывающего про-ва : межвузов. сб.* — Л. : [б. и.], 1977. — С. 63—65.

42. *Калитеевский, Р. Е.* Технологические основы автоматизации процессов подготовки сырья к распиловке / Р. Е. Калитеевский // *Известия вузов : лесн. журн.* — 1988. — № 4. — С. 54—57

43. *Калитеевский, Р. Е.* Технология лесопиления / Р. Е. Калитеевский. — М. : Лесная пром-сть, 1986. — 264 с.

44. *Калугин, Ю. К.* Анализ размерно-качественной характеристики фанерного сырья / Ю. К. Калугин // *Сб. науч. тр. / БГТУ.* — Минск : [б. и.], 2003. — Вып. XI. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. — С. 178—181.

45. *Калугин, Ю. К.* Влияние центрирования и пороков формы сортиментов на выход лущеного шпона / Ю. К. Калугин // *Сб. науч. тр. / БГТУ.* — Минск : [б. и.], 2002. — Вып. X. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. — С. 167—169.

46. *Калугин, Ю. К.* Качество материалов для фанерного производства / Ю. К. Калугин, А. А. Янушкевич // *Лесное и охотничье хоз-во.* — 2004. — № 4. — С. 26-27.

47. *Калугин, Ю. К.* Компьютерное моделирование процессов лущения шпона / Ю. К. Калугин, А. А. Янушкевич // *Сб. науч. тр. / БГТУ.* — Минск : [б. и.], 2003. — Вып. XI. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. — С. 170—173.

48. *Калугин, Ю. К.* Особенности способов базирования фанерных сортиментов / Ю. К. Калугин // *Лесная пром-сть Беларуси.* — Минск : [б. и.], 2005. — № 3. — С. 19—21.

49. *Калугин, Ю. К.* Реализация алгоритма центрирования сортимента при лущении шпона / Ю. К. Калугин // Сб. науч. тр. / БГТУ. — Минск : [б. и.], 2004. — Вып. XII. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая пром-сть. — С. 197—200.

50. *Калугин, Ю. К.* Применение параметрической оптимизации в технических системах / Ю. К. Калугин // Европейская наука XXI века: стратегия и перспективы развития : сб. тезисов Международ. научно-практ. конф. — Днепропетровск : [б. и.], 2006. — Т. 21. — С. 107—110.

51. *Калугин, Ю. К.* Применение параметрической оптимизации в технических системах / Ю. К. Калугин // Европейская наука XXI века: стратегия и перспективы развития : сб. тезисов Международ. научно-практической конф. — Днепропетровск : [б. и.], 2006. — Т. 21. — С. 107—110.

52. *Калугин, Ю. К.* Сравнительный анализ способов базирования фанерных сортиментов / Ю. К. Калугин, А. В. Петров // Деревообрабатывающая пром-сть. — 2004. — № 5. — С. 16-17.

53. *Касаткин, А. Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. — 9-е изд. — М. : Химия, 1973. — 750 с.

54. *Кикучи, Е.* Ультразвуковые преобразователи / Е. Кикучи. — М. : Мир, 1972. — 424 с.

55. *Клепиков, Н. П.* Анализ и планирование экспериментов методом максимума правдоподобия / Н. П. Клепиков, С. Н. Соколов. — М. : [б. и.], 1964. — 184 с.

56. *Кошуняев, Б. И.* Оптимизация степени переработки пиловочного сырья пилением / Б. И. Кошуняев. — М. : [б. и.], 1975. — 27 с.

57. *Крылов, Г. В.* Математическая модель задачи выбора оптимальных сочетаний головного оборудования лесопильного цеха / Г. В. Крылов // Всесоюз. сб. : Повышение эффективности и качества в деревообрабатывающей пром-сти. — Киев : УкрНИИМОД, 1977. — С. 75.

58. *Кузнецов, В. М.* Автоматизация установочных перемещений в лесопильно-деревообрабатывающих станках / В. М. Кузнецов. — М. : [б. и.], 1969. — 112 с.

59. *Куликов, В. А.* Производство фанеры / В. А. Куликов. — М. : Лесная пром-сть, 1976. — 367 с.

60. *Куроптев, П. Ф.* Приемка и учет пиловочного сырья на лесопильных предприятиях / П. Ф. Куроптев, С. З. Чертовский // Механическая обработка древесины : Обзор информ. — М. : ВНИПИЭИлеспром. — Вып. 12. — 1986. — 40 с.

61. *Левитский, Ю. Б.* Технологические основы автоматизации сортирования лущеного шпона березового : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю. Б. Левинский ; ЛТА им. С. М. Кирова. — Л. : [б. и.], 1980. — 19 с.

62. *Лешкевич, А. И.* Оборудование лесных складов / А. И. Лешкевич, Д. К. Воевода, В. В. Назаров. — М. : Лесная пром-сть, 1975. — 280 с.

63. *Лурье, Н. А.* Фанера. Мировое производство и внешняя торговля / Н. А. Лурье // Деревообрабатывающая пром-сть. — 1983. — № 1. — С. 20.

64. *Маркова, Е. В.* Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е. В. Маркова, А. Н. Лысенков. — М. : [б. и.], 1973. — 219 с.

65. *Медведев, Н. А.* Экономика лесной промышленности / Н. А. Медведев. — М. : Лесная пром-сть, 1985. — 288 с.

66. *Мирошник, И. В.* Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы / И. В. Мирошник. — М. : Питер, 2006. — 272 с.

67. *Михеев, И. И.* Практика размерной настройки луцильных и шпонострогальных станков // Плиты и фанера : Обзор ВНИПИЭИлеспром. — М. : [б. и.], 1984. — 35 с.

68. *Морозов, В. М.* Автоматизация технологических процессов в производстве фанеры и плит : Экспресс-информация / В. М. Морозов, В. Ф. Лосицкий // Плиты и фанера. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1982. — Вып. 6. — 24 с.

69. *Налимов, В. В.* Логические основания планирования эксперимента / В. В. Налимов, Т. И. Голикова. — М. : [б. и.], 1980. — 152 с.

70. *Налимов, В. В.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. — М. : [б. и.], 1965. — 340 с.

71. *Науменко, З. М.* Перепад сортности березового сырья при транспортировке и хранении / З. М. Науменко, В. А. Фортунатов // Механическая обработка древесины. — 1969. — № 6. — С. 17-18.

72. *Науменко, З. М.* Пороки фанерного сырья и их влияние па выход продукции / З. М. Науменко. — М. : [ВНИПИЭИлеспром], 1970. — 41 с.

73. *Науменко, З. М.* Резервы экономии фанерного березового сырья и пути их использования / З. М. Науменко, В. А. Фортунатов // Деревообрабатывающая пром-сть. — 1968. — № 8. — С. 1—3.

74. *Науменко, З. М.* Исследование сырьевых ресурсов и лесоводственно-таксационных характеристик березняков европейской части РСФСР : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / З. М. Науменко. — Красноярск : [б. и.], 1975.

75. *Науменко, З. М.* Сырьевые ресурсы лиственных насаждений и их использование / З. М. Науменко, В. А. Фортунатов. — М. : [б. и.], 1972. — 118 с.

76. *Науменко, З. М.* Таблицы динамики товарной структуры и товарные таблицы для древостоев березы лесосырьевых баз фанерной промышленности / З. М. Науменко // Сб. тр. ЦНИИФа : Новое в производстве фанеры, древесностружечных плит и древесных пластиков. — М. : [б. и.], 1973. — С. 135—161.

77. *Науменко, З. М.* Производство товаров народного потребления из отходов / З. М. Науменко, Н. А. Рыжова. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1973. — 29 с.

78. *Новицкий, Б. Г.* Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах: Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / Б. Г. Новицкий. — М. : Химия, 1983. — 192 с.

79. Обмер, учет и маркировка круглых лесоматериалов в Швеции : обзор / А. Г. Якунин [и др.]. — М. : ВНИПИЭИлеспром. — 1978. — 32 с.

80. *Орлов, А. Т.* Пути автоматизации технологических процессов в производстве фанеры : обзор / А. Т. Орлов, Ю. Н. Стрижев // Плиты и фанера. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1978. — 47 с.

81. *Орлов, А. Т.* Контроль и управление в производстве фанеры : Обзор / А. Т. Орлов, Ю. Н. Стрижев. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1977. — 32 с.

82. Основы физики и техники ультразвука / Б. А. Агранат [и др.]. — М. : Высш. шк., 1987. — 352 с.

83. Основы экономики лесопильно-деревообрабатывающей промышленности / Р. А. Акимов [и др.]. — М. : Лесная пром-сть, 1977. — 232 с.

84. *Петровский, В. С.* Автоматика и автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий / В. С. Петровский, В. В. Харитонов. — М. : Лесная пром-сть, 1984. — 240с.

85. Плиты и Фанера : науч.-техн. рефератив. сб. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1982. — Вып. 11. — С. 16.
86. Пресованная древесина и древесно-слоистые пластики в машиностроении : справ. под ред. А. Г. Ракина. — М. : Машиностроение, 1965. — С. 148.
87. Производство лущеного и строганного шпона / И. И. Михеев [и др.]. — М. : Высш. шк., 1984. — 184 с.
88. Производство фанеры из лиственницы : обзорная информ. / П. П. Анисов [и др.] // Плиты и фанера. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1980. — Вып. 1. — 40 с.
89. *Радж Балдаев* Применения ультразвука. / В. Раджендран. — М. : Техносфера : Паланичами, 2006. — 576 с.
90. *Ребрин, С. П.* Технология древесно-волоконистых плит / С. П. Ребрин, Е. Д. Мерсов, В. Г. Евдокимов. — М. : Лесная пром-сть, 1971. — 280 с.
91. *Розенберг, Л. Д.* Источники мощного ультразвука / под ред. Л. Д. Розенберга. — М. : Наука, 1969. — 380 с.
92. *Рыкунин, С. Н.* О дробности сортировки пиловочного сырья / С. Н. Рыкунин, В. С. Шалаев // Деревообрабатывающая пром-сть, 1983. — № 12 — С. 4-5
93. *Севастьянов, К. Ф.* Повышение экономической эффективности производства трехслойных древесностружечных плит за счет использования отходов фанерного и мебельного производства / К. Ф. Севастьянов, А. Н. Леднев // Материалы симпозиума по факторам, влияющим на потребление древесных плит и фанеры, Женева, 12—16 февраля, 1968 г. — [Б. м. : б. и.], 1968.
94. Способ повышения качества работы систем ФАПЧ электронных ультразвуковых технологических аппаратов / В. Н. Хмелев [и др.] // Измерения, автоматизация и моделирование в пром-ных и науч. исследованиях : межвузов. сб. / под ред. Г. В. Леонова. — Бийск : [б. и.], 2002. — С. 178—184.
95. Справочник по экономике лесной промышленности / В. В. Глотов [и др.] — М. : Лесная пром-сть, 1967. — С. 288.
96. Статистические методы в имитационном моделировании : пер. с англ. / Дж. Клейнен. — М. : [б. и.], 1978. — Вып. [?]. — 335 с.
97. *Стрижев, Ю. Н.* Автоматическая система учета сырья в фанерном производстве : нагляд. пособие : Передовой производственный и научно-технический опыт в деревообрабатывающей промышленности / Ю. Н. Стрижев, Л. А. Максимов // ЛДНТП. — Л. : [б. и.], 1983.
98. *Стрижев, Ю. Н.* Оптимизация загрузки лущильных станков в АСУТП производства фанеры / М. Л. Топоров, А. А. Ляшко // Автоматизация технологических процессов в лесной промышленности : сб. трудов : ЦНИИлесосплав. — М. : Лесная пром-сть, 1983. — С. 83—89
99. *Стрижев, Ю. Н.* Системы автоматического контроля и управления деревообрабатывающей промышленности : обзор / Ю. Н. Стрижев. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1979. — 52 с.
100. *Стрижев, Ю. Н.* Совершенствование процессов производства фанеры с использованием вычислительной техники : обзор / Ю. Н. Стрижев. — М. : ВНИПИЭИлеспром, 1984. — 24 с.
101. Теория и конструирование деревообрабатывающих машин / под ред. Н. В. Маковского. — М. : Лесная пром-сть, 1975. — 526 с.

102. *Теумин, И. И.* Ультразвуковые колебательные системы / И. И. Теумин. — М. : Машгиз, 1959. — 331 с.

103. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В. Н. Хмелев [и др.]. — Барнаул : АлтГТУ, 2007. — 416 с.

104. *Фонкин, В. Ф.* Калибрование пиловочных бревен / В. Ф. Фонкин, Н. И. Попов // *Деревообрабатывающая пром-сть.* — 1977. — № 2. — С. 4—6.

105. *Хасдан, С. М.* Состояние и основные направления развития деревообрабатывающих производств / С. М. Хасдан. — М. : [б. и.], 1973. — 197 с.

106. *Хмелев, В. Н.* Способ управления работой ультразвукового технологического аппарата для оптимизации ультразвукового воздействия / В. Н. Хмелев, И. И. Савин, Р. В. Барсуков // *Известия Тульского гос. ун-та : Технологическая системотехника.* — Тула : [б. и.], 2006. — Вып. 6. — С. 12—18.

107. *Хмелев, В. Н.* Управление работой электронного генератора при ультразвуковом воздействии на кавитирующие технологические среды / В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, А. В. Шалунов // *Известия Тульского гос. ун-та : Технологическая системотехника.* — 2004. — Вып. 2. — С. 32—40.

108. *Черноруцкий, И. Г.* Методы оптимизации в теории управления / И. Г. Черноруцкий. — М. : Питер, 2004. — 256 с.

109. *Шатилов, Б. А.* Совершенствование технологии производства пиломатериалов : обзор. информ. / Б. А. Шатилов // *Деревообработка.* — М. : ВНИПИЭИ-леспром, 1991. — Вып. 3. — 80 с.

110. *Шаумян, Г. А.* Автоматизация производственных процессов / Г. А. Шаумян, М. М. Кузнецов, Л. И. Волчквич. — М. : [б. и.], 1967. — 471 с.

111. *Шейдин, И. А.* К вопросу о рациональном использовании кускового шпона в фанерной промышленности / И. А. Шейдин, Л. В. Львовский. — М. : [б. и.], 1971. — 4 с.

112. *Шейдин, И. А.* К вопросу о рациональном использовании кускового шпона в фанерной промышленности / И. А. Шейдин. — М. : [б. и.], 1971. — 4 с.

113. *Шутилов, В. А.* Основы физики ультразвука / В. А. Шутилов. — Л. : Ленинград. ун-та, 1980. — 280 с.

114. Экономика лесобрабатывающей промышленности / И. С. Прохорчук [и др.]. — 4-е изд. — М. : Лесная пром-сть, 1981. — 336 с.

115. *Эльпинер, И. Е.* Биофизика ультразвука / И. Е. Эльпинер. — М. : Наука, 1973. — 384 с.

116. *Яковлев, М. К.* Применение сплайнов в математических моделях хлыстов и бревен / М. К. Яковлев, А. А. Янушкевич, М. И. Кулак // *Технология и оборудование заготовки и переработки древесины.* — Минск : Выш. шк., 1988. — Вып. 3. — С. 97—102

117. *Owens, J.* The growing importanse of headrig chippers ina sawmills, "Southern Lumberman" / J. Owens. — vol. 226, 1973, H 2803.

118. *Campbel, J. R.* Lumber manufacturing in eastern Canada, Uish Columbia Ihmberman / J. R. Campbel. — 1962, H 12.

119. *Canada Lumberman* / Y. E. Bell. -71, H 9 (Sept) 86, 188, 1951.

120. *Forest Industries*, 1983, 110. № 4, 1Y. — P. 28-29.

121. *Fradkov, A. L.* Nonlinear and adaptive control of complex systems / A. L. Fradkov, L. V. Miroshnik, V. O. Nikiforov. — 1998.
122. *Isidori, A.* Nonlinear control systems. 3D edition. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
123. *Kerbee, S. L.* Harrow kerf, accurate sawing: ken to higher ter recovery, Canadian Forest Industry / S. L. Kerbee. — vol 89, 1969. — H 3.
124. *Khali, H. K.* Nonlinear systems. 2nd edition. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
125. Adaptive Phase Lock System of Ultrasonic Electronic Generators / V. N. Khmelev [etc.] // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2006: Workshop Proceedings / NSTU. — Novosibirsk, 2006. — P. 229–231.
126. System of Phase–Locked–Loop Frequency Control of Ultrasonic Generators / V.N. Khmelev [etc.] // Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Proceedings / NSTU. — Novosibirsk, 2001. — P. 56-57.
127. *Miroshnik, I. V.* Attractors and partial stability of nonlinear dynamical systems / I. V. Miroshnik // Automatica, 40, 2004.
128. *Owens, J.* The growing importanse of headrig chippers in a sawmills : Southern Lumberman / J. Owens. — vol. 226. — 1973. — H 2803.
129. *Sastry, S.* Nonlinear systems : analysis, stability and control / S. Sastry. — New-York : Springer-Verlag, 1999.
130. Ультразвуковое оборудование [Электронный ресурс]. — ПКФ ООО «Сапфир». — Режим доступа: <http://www.sapphire.ru/>. — Загл. с экрана.
131. Полуволновые пьезоэлектрические ультразвуковые колебательные системы [Электронный ресурс] / В. Н. Хмелев [и др.] // Электронный журнал «Техническая акустика». — 2005. — 26. — 12 с. — Режим доступа: <http://www.ejta.org/ejta/rus/abstracts2005rus/khmelev2rus.shtml>. — Загл. с экрана.
132. Active ULTRASONICS [Электронный ресурс]. — Innovative & Unique Ultrasonic Solutions. — Режим доступа: <http://activeultrasonics.com/>. — Загл. с экрана.
133. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения ГОСТ — 2140-81 : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.wood-win.ru/gost/gost-2140-81.asp>. — Загл. с экрана.
134. Шпон лущеный. Технические условия ГОСТ 99-96 : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://tehstandart.com/ГОСТ%2099-96>. — Загл. с экрана.
135. Шпон лущеный. Методы испытаний ГОСТ 20800-75 : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://russgost.ru/catalog/item39666>. — Загл. с экрана.
136. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия ГОСТ — 9462-88 : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.wood-win.ru/gost/gost-9462-88.asp>. — Загл. с экрана.
137. Лесоматериалы круглые. Маркировка, сортировка, транспортирование, методы измерения и приемка ГОСТ — 2292-88 : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.wood-win.ru/gost/gost-2292-88.asp>. — Загл. с экрана.
138. Заявка № а20110813 МПКВ27L 5/00. Способ и устройство для определения геометрической формы фанерных сортиментов.
139. Стратегия технологического развития республики Беларусь на период до 2015 года [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bellegprom.by/print/programs/>. — Загл. с экрана.

Учебное издание

Калугин Юрий Константинович

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА
РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛУЩЕНОГО ШПОНА**

Монография

Технический редактор *М. Л. Потапчик*

Корректор *О. Н. Майсюк*

Компьютерная верстка *Н. В. Ивановой*

Ответственный за выпуск *Е. Г. Хохол*

Подписано в печать 30.06.2011.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 13,72. Уч.-изд. л. 11,08.

Заказ 90. Тираж 110 экз.

ЛИ 02330/0552803 от 09.02.2010

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Барановичский государственный университет»,
225404, г. Барановичи, ул. Войкова, 21.

Репозиторий БарГУ