

Е74
К-65

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

А.М. Копейкин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЕЙ ОБРЕЗКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Диссертация написана на русском языке

05.421. "Машины, оборудование и технология
лесопильных и деревообрабатывающих
производств"

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Минск

1971

674
К-65

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. С.М.КИРОВА

На правах рукописи

А.М. КОПЕЦКИН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЕЙ ОБРЕЗКИ
ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

(Диссертация написана на русском языке)

05.421. "Машины, оборудование и технологии лесопильных и
деревообрабатывающих производств"

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Б-ка БТИ им. С. М. Кирова
г. Минск, Свердлова, 18

Минск

1971

2675 ар.

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте механической обработки древесины.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

доцент, кандидат технических наук В.Д.ИВАНОВ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

профессор, доктор технических наук М.Д.БАВЕЛЬСКИЙ
(г.Ленинград, ЛОЛТА им. С.М.Кирова)

доцент, кандидат технических наук В.И.ПАСТУШЕНИ
(г.Минск, БТИ им. С.М.Кирова)

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторский институт деревообрабатывающего машиностроения (ВНИИДМАШ)

Автореферат разослан " 18 " *ноября* 1971 г.

Защита диссертации состоится " *6 декабря* 1971 г.
в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова,
г.Минск, ул.Свердлова, 13-а, корпус IV, ауд.220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы по автореферату обязательно в двух экземплярах с заверенными подписями просим прислать в адрес Совета.

Ученый секретарь Совета *И.М.ПЛЕХОВ* Доцент, к.т.н.
И.М.ПЛЕХОВ

Исследованию различных аспектов операции обрезки пиломатериалов посвящено большое количество работ в СССР (Колтунов Я.Л., Турушев В.Г., Айзенберг Д.И.) и за рубежом (Бонг Б., Аск В., Франкссон). Повышенный интерес к операции обрезки объясняется тем, что в настоящее время обрезки стала "узким местом" лесопильного рамного потока из-за малой пропускной способности и больших потерь выхода при раскросе необрезных досок. В большинстве известных исследований рассматривается возможность увеличения пропускной способности обрезного станка путем сокращения длительности цикла на обработку одной доски за счет механизации и автоматизации околостаночных операций. Проведенный анализ показывает, что в этом случае наряду с увеличением пропускной способности уменьшается время на выбор ширины обрезки и ориентирование доски по поставу пил обрезного станка, то есть ухудшаются условия раскроса необрезной доски. На основании этого анализа сделан вывод о том, что увеличение пропускной способности обрезного станка без увеличения потерь выхода при обрезке может быть обеспечено только за счет автоматизации выбора оптимального варианта раскроса, то есть при автоматизации управления операцией обрезки.

Подготовка автоматизации управления какими-либо объектом связана с постановкой и решением целого комплекса задач, заключающихся в следующем:

1. Обоснование критерия оптимального управления;
2. Составление математического описания объекта;
3. Разработка алгоритма управления;
4. Составление структурно-информационной схемы управления;

5. Разработка датчиков;
6. Обеспечение требуемой надежности.

Разноплановость и сложность перечисленных работ не позволили выполнить весь комплекс в рамках одной работы. В связи с этим задачей диссертации было решение всех вопросов, связанных с технологическим, механическим и экономическим обоснованием системы автоматического управления операцией обрезки, начиная от обоснования критерия оптимального управления и кончая разработкой структурной схемы.

Все исследования выполнялись для случая выпилки одной обрезной доски из каждой необрезной, что характерно для наиболее распространенных лесопильных потоков, оснащенных узкопросветными и среднепросветными рамами.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, изложенных на 230 страницах машинописного текста, включая 66 иллюстраций, список литературы из 53 источников и 7 приложений, содержащих первичный экспериментальный материал и акт лабораторных испытаний блоков вычислительного устройства.

Обоснование критерия оптимального управления операцией обрезки шломатериалов

Показано, что применение общего экономического критерия для управления операцией обрезки не имеет смысла. В качестве частных критериев предложены максимальная стоимость получаемой продукции и максимальный объемный выход (максимум площади пласти выкраиваемой доски).

В результате теоретических исследований сделан предварительный вывод о практической равноценности этих критериев. Проведены экспериментальные исследования, заключающиеся в сравнении результатов условного раскрытия одной и той же партии досок по каждому из двух сравниваемых критериев. На основании этих экспериментов показано, что при переходе от стоимостного критерия к объемному стоимость выкраиваемой пл-

допродукции уменьшается на 0,2-1,15 % при некотором увеличении объемного выхода (на 0,1-2,4 %).

Сделан вывод о том, что при моделировании раскроя необрезной доски и автоматизации управления операцией обрезки в качестве частного критерия оптимального управления может быть принят максимум площади пласти выкрываемой доски.

Математическое моделирование раскроя необрезной доски

Предложена новая теоретическая модель необрезной доски, учитывающая искажения формы ее пласти, вызванные кривизной бревна. С помощью этой модели получены уравнения кривых, ограничивающих пласт у двух основных групп необрезных досок:

1. Доски, имеющие пласт, симметричную относительно продольной оси

$$y = \sqrt{A^2 - a^2} \cdot \frac{x}{L} + \frac{a^2}{4} + 2fH \sin \pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) - f^2 \sin^2 \pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \quad (1)$$

2. Доски, имеющие пласт, несимметричную относительно продольной оси

$$y = \sqrt{\frac{A^2 - a^2}{4} \cdot \frac{x}{L} + \frac{a^2}{4}} + f \sin \pi \left(\frac{nx}{L} - p \right) \quad (2)$$

где A - ширина наружной пласти доски в концевом торце;
 a - ширина наружной пласти доски в вершине;
 L - длина доски;
 f - стрела прогиба;
 n - число полуволн синусоиды на длине доски;
 p - параметр, определяющий фазу синусоиды.

Для проверки адекватности предложенной модели проведены эксперименты, заключающиеся в обмере необрезных досок и подборе уравнений вида (1) и (2) для кривых, ограничивающих их наружные пласти. На основании экспериментов показано, что теоретическая модель адекватна для 95,2 % всех необрезных досок и все доски можно разделить на 18 групп в зависимости от формы пласти (рис.1). Установлены диапазоны изменения всех параметров в уравнениях (1), (2).

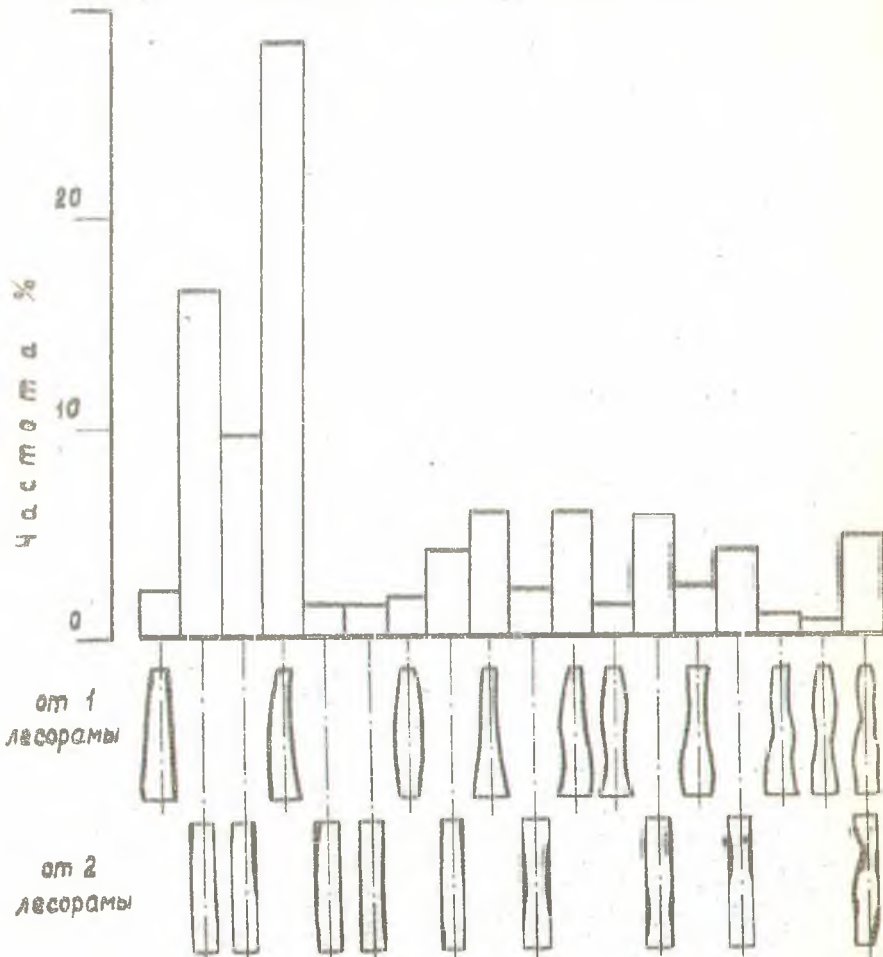


Рис. 1. Распределение необрезных досок в зависимости от формы пласти.

Выполнено математическое моделирование раскроя необрезной доски, заключающееся в определении оптимальной ширины B_0 , оптимальной длины L_0 (а следовательно и площади S_0) прямоугольника максимальной площади, вписанного в фигуру, ограниченную кривой (1) или (2). Предварительно уравнения (1), (2) были преобразованы к виду

$$y = \sqrt{1 - x(1 - \alpha^2) + \gamma^2 \sin \pi(nx - \rho)} \quad (3)$$

$$y = \sqrt{1 - x(1 - \alpha^2) + \beta \sin \pi(nx - \rho)} \quad (4)$$

где α - отношение ширины пласти доски в вершине к ширине пласти в комлевом торце;

β - стрела прогиба оси доски в долях половины ширины доски в комле;

$\gamma^2 = \frac{4[2fH - f^2 \sin \pi(nx - \rho)]}{A^2}$ и условно принята постоянной величиной для данной доски.

Рассмотрено четыре задачи, соответствующие раскрой симметричных (3) и несимметричных (4) досок при величине параметра $n = 1$ и $n = 2$. Для симметричных досок в пределах каждой задачи взято два случая в зависимости от значения параметра ρ (0 и 1). В результате получены графические зависимости, отражающие влияние параметров $\alpha, \beta, \gamma, n, \rho$ на оптимальную ширину B_0 (рис. 2-7), оптимальную длину L_0 и площадь пласти S_0 .

На основании результатов математического моделирования выявлены параметры необрезной доски, от которых зависит оптимальная ширина обрезки, и показана невозможность вывода одного обобщенного уравнения, отражающего эту зависимость для всех типов необрезных досок. Сделан вывод о том, что в основу алгоритма автоматического поиска оптимального варианта раскроя необрезной доски следует положить метод проб и оценок (метод последовательных испытаний).

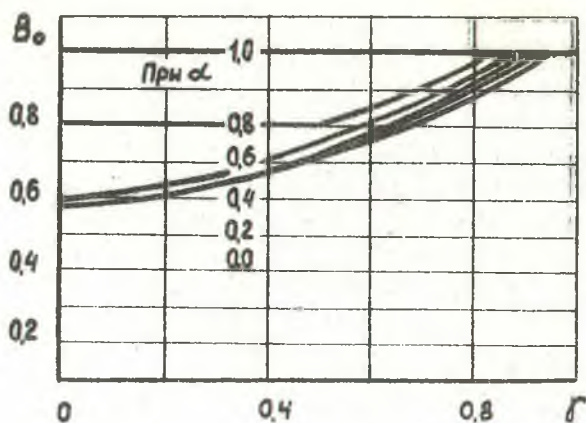


Рис. 2. Оптимальная ширина B_0 для досок с симметричной пластью при $n = 1$; $\rho = 0$ в зависимости от α и γ .

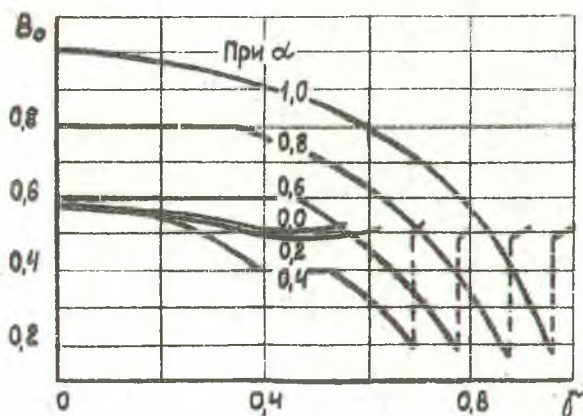


Рис. 3. Оптимальная ширина B_0 для досок с симметричной пластью при $n = 1$; $\rho = 1$ в зависимости от α и γ .

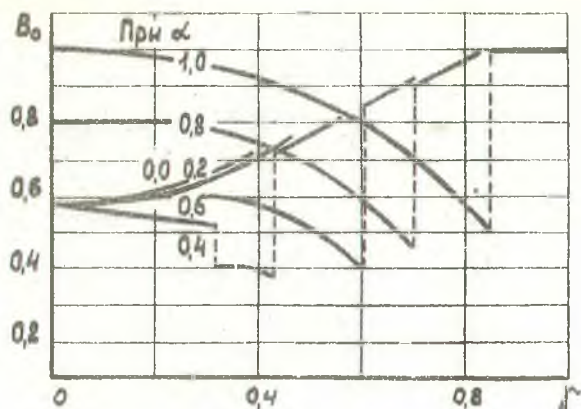


Рис. 4. Оптимальная ширина B_0 для досок с симметричной пластью при $\eta = 2$; $\rho = 0$ в зависимости от α и γ .

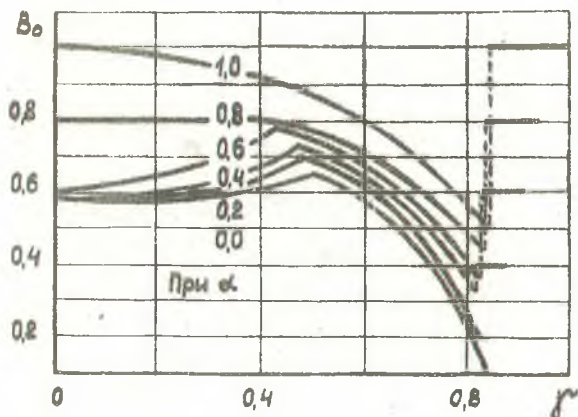


Рис. 5. Оптимальная ширина B_0 для досок с симметричной пластью при $\eta = 2$; $\rho = 1$ в зависимости от α и γ .

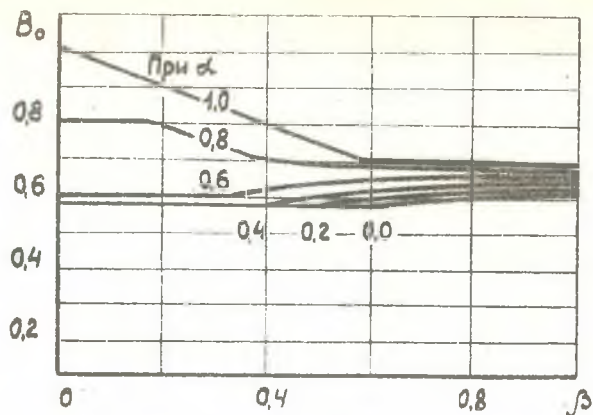


Рис. 6. Оптимальная ширина B_0 для досок с несимметричной пластью при $n = 1$ в зависимости от α и β .

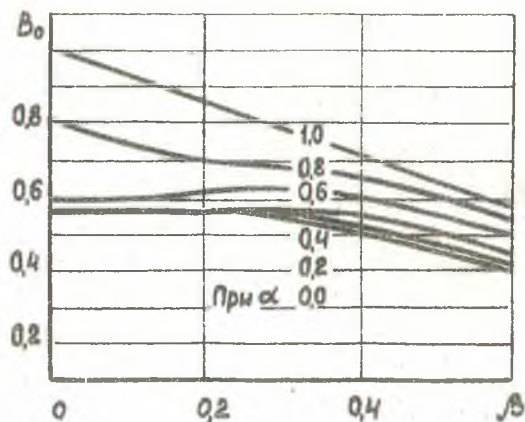


Рис. 7. Оптимальная ширина B_0 для досок с несимметричной пластью при $n = 2$ в зависимости от α и β .

Исследование влияния производственных факторов
на величину потерь выхода и рассеивание размеров
при обрезке пиломатериалов

Установлены две основные причины потерь выхода:

- 1) неправильный выбор ширины обрезки;
- 2) ошибки при ориентировании необрезной доски по поставу пил обрезного станка.

В качестве критерия правильности выбора ширины обрезки принят выход

$$O_1 = \frac{B_{\phi} \cdot L_1}{B_o \cdot L_o} 100 \% \quad , \quad (5)$$

где B_o - оптимальная ширина обрезки;
 L_o - оптимальная длина;
 B_{ϕ} - фактическая ширина обрезки;
 L_1 - длина, обеспечивающая наибольший выход при ширине B_{ϕ}

Критерием точности ориентирования доски служит выход

$$O_2 = \frac{L_{\phi}}{L_1} 100 \% \quad , \quad (6)$$

где L_{ϕ} - фактическая длина выпиленной доски, а произведение этих отношений

$$O = \frac{O_1 \cdot O_2}{100} \% \quad (7)$$

дает фактический выход в процентах от оптимального. На основании анализа взаимосвязи потерь выхода и рассеивания размеров пиломатериалов при обрезке показана необходимость совместного изучения этих вопросов.

Приведена методика и результаты экспериментальных исследований влияния основных производственных факторов на выход и рассеивание размеров при обрезке. На основании

дисперсионного анализа экспериментального материала доказано, что выход O_1 зависит от средней оптимальной ширины партии досок при слабо выраженном эффекте от места выпилки (рис.8), а на выход O_2 влияет только количество досок, обрабатываемых в минуту (рис.9).

Сделан вывод о том, что рассеивание ширин при обрезке имеет характер нормального распределения, а рассеивание длин - характер нормального распределения с резко выраженной отрицательной асимметрией. На основании анализа экспериментального материала показано, что среднее отклонение от оптимальной ширины почти всегда имеет положительный знак, а среднее отклонение от оптимальной длины всегда отрицательно. Сопоставлены возможные потери выхода и рассеивание размеров при завышении и занижении ширины обрезки против оптимальной. Сделан вывод о том, что при завышении ширины обрезки получаются большие потери стоимости из-за резкого укорочения выпиливаемых пиломатериалов.

Обоснование структуры и элементов системы
автоматического управления операцией обрезки
пиломатериалов

Разработана структурная схема системы автоматического управления операцией обрезки, включающая:

- впередистаночное устройство;
- измерительное устройство;
- управляющую вычислительную машину (УВМ);
- устройство управления пилами обрезающего станка.

Указанная схема реализуется наиболее просто при наличии станка с симметричным раздвижением пил и кнопочным пультом управления. Поскольку подобные технические решения уже известны, то подробно рассмотрены только первые три элемента схемы.

В качестве впередистаночного устройства предложен четырехзахватный центрирующий механизм. На основании резуль-

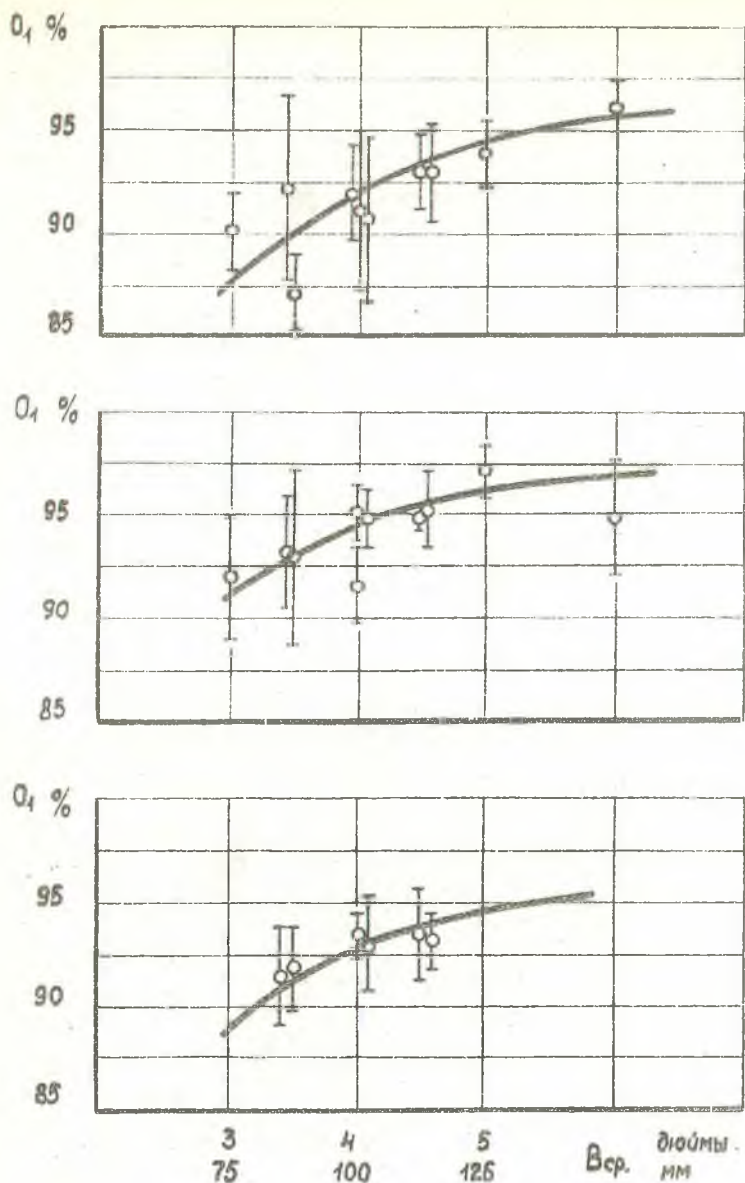


Рис. 8. Выход O_1 в зависимости от средней оптимальной ширины для досок от I лесопильной рамы (верхний график), 2 лесопильной рамы и смешанной группы (нижний график).

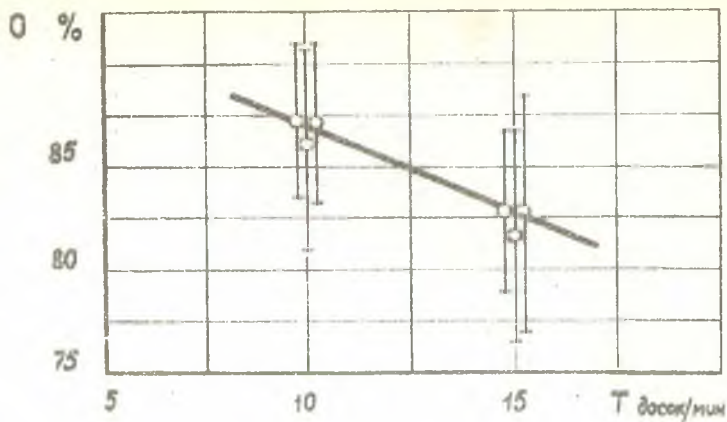


Рис. 9. Выход O_2 в зависимости от количества досок, обрабатываемых в минуту.

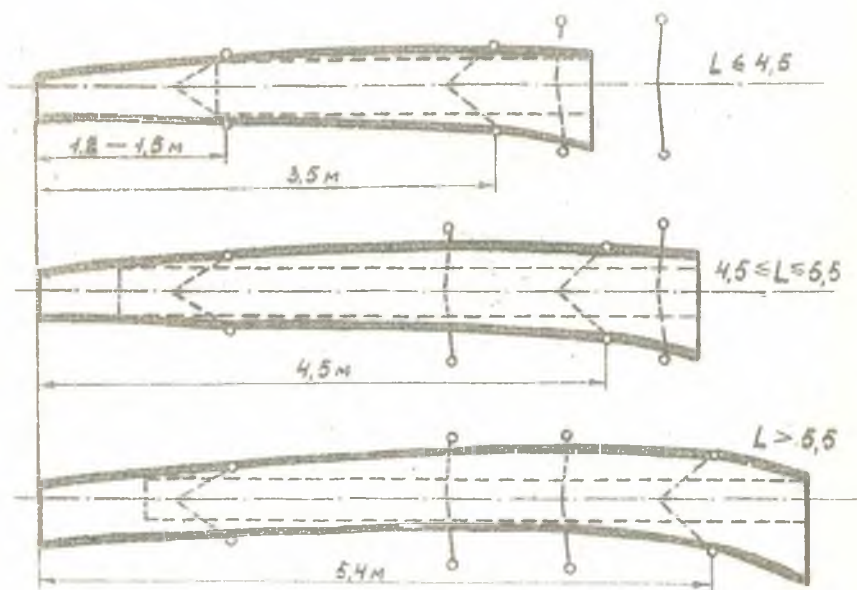


Рис. 10. Схема размещения захватов у впередистаночного устройства.

татов математического моделирования и специальных экспериментов определено оптимальное размещение центрирующих захватов (рис.10). Экспериментально исследована точность ориентирования таким механизмом необрезных досок с односторонней кривизной. Показано, что в этом случае выход пиломатериалов O_3 (в % от оптимального) зависит, в основном, от параметра β (рис.11), причем эта связь может быть выражена эмпирическим уравнением

$$O_3 = \left\{ \exp[-\beta^2(0,33 + 0,08\alpha)] \right\} 100\% . \quad (8)$$

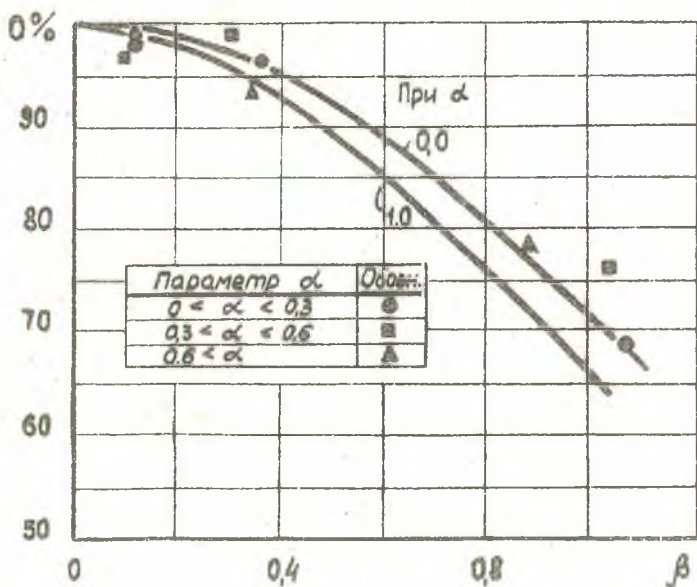


Рис.11. Выход O_3 при установке кривых необрезных досок четырехзахватным манипулятором в зависимости от α и β .

При разработке требований к измерительному устройству показано, что датчики длины должны быть расположены на расстоянии одной стандартной градации длины друг от друга. Для определения расположения датчиков ширины проведены экспериментальные исследования, которые показали, что выход O_4 (% от оптимального) уменьшается с увеличением расстояния между датчиками ширины Δ по закону

$$O_4 = [100 - 0,3(\Delta - 1) - 0,07(\Delta - 1)^2] \% \quad (9)$$

Сделан вывод о возможности расположения датчиков ширины на расстоянии до 4 стандартных градаций длины друг от друга.

Сформулированы требования к УВМ и разработана ее структурная схема (рис.12). Показано, что эта схема может быть реализована в виде аналогового вычислительного устройства с параллельным поиском оптимального варианта раскроя по методу проб и оценок. Приведено описание и результаты испытаний блоков такого устройства. Предварительным расчетом подтверждено, что автоматизация управления операцией обрезки дает экономический эффект порядка 9 тыс. руб. в год на поток за счет улучшения раскроя необрезных досок.

В ы в о д ы

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы.

1. Автоматизация управления операцией обрезки является необходимым условием, обеспечивающим улучшение использования сырья при выработке обрезных пиломатериалов и увеличение пропускной способности обрезного станка.

2. Частным критерием оптимального управления для операции обрезки может служить максимальный объемный выход (максимум площади пласти вырезаемой доски), так как потери стоимости пиломатериала, вызванные переходом к этому критерию, не превысит 1,15 %.

2675 ар.

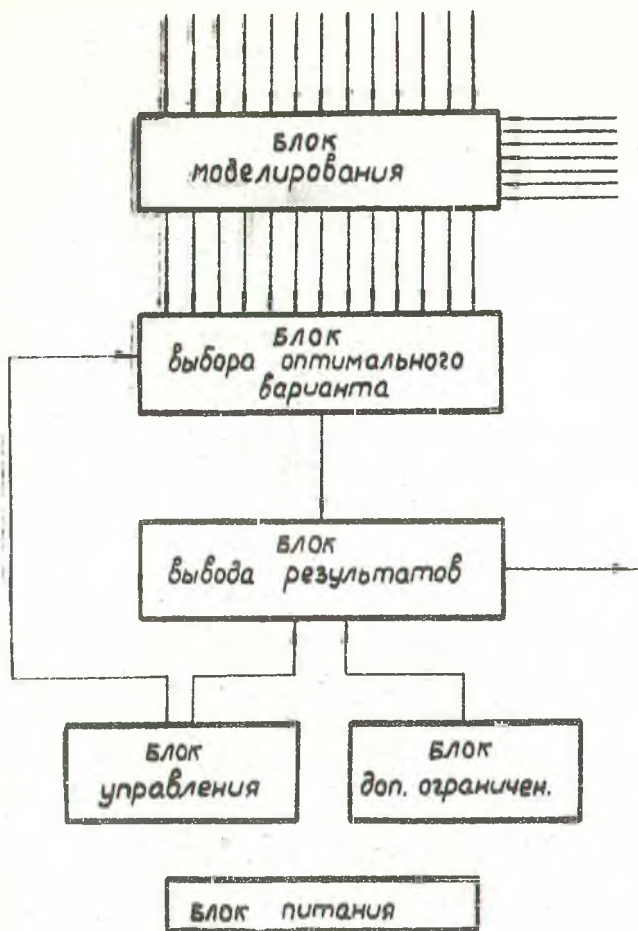


Рис. 12. Структурная схема УВМ для системы автоматического управления операциями обрезки.

3. Форма наружной пласти доски весьма разнообразна, причем в зависимости от этого фактора все необрезные доски можно разделить на 18 типов. Разработанная теоретическая модель адекватна для 17 типов, составляющих более 95 % от всех необрезных досок, и позволяет условно выделить две основные группы:

- доски с наружной пластью симметричной формы;
- доски с наружной пластью несимметричной формы.

4. Форма наружной пласти любой необрезной доски может быть охарактеризована четырьмя параметрами, один из которых α представляет собой отношение ширины наружной пласти доски в вершине к ширине пласти в комле, а остальные три - μ , ρ , γ (для досок с симметричной пластью) или β - (для досок с несимметричной пластью) определяют характер и степень искажения формы пласти доски.

5. Оптимальная ширина обрезки, длина и площадь пласти выпиливаемой доски зависят от параметров α , β , γ , μ и ρ , причем эта зависимость очень сложна и не может быть выражена в виде одного обобщенного уравнения.

6. При автоматизации управления операцией обрезки определение оптимального варианта раскроя необрезной доски по ее параметрам нецелесообразно из-за сложности, а иногда и невозможности получения информации для вычисления этих параметров. В основу алгоритма поиска оптимального варианта раскроя необрезной доски следует положить метод последовательных испытаний (метод проб и оценок).

7. При ручном управлении операцией обрезки потери выхода вызваны, в основном, ошибками при определении ширины обрезки и неточным ориентированием доски по поставу под обрезного станка.

8. При выборе варианта раскроя обрезки чаще всего допускают ошибки в сторону завышения ширины обрезки; рассеивание размеров при этом имеет характер нормального распределения, а выход пиломатериалов O_1 (в % от оптимального) зависит от средней ширины партии досок B_{cp} и может быть

рассчитан по формуле

$$O_1 = \left(1 - \frac{1}{6 B_{\text{ср}} - 9,8} \right) 100 \% .$$

9. Неточное ориентирование досок по поставу пил обрезающего станка приводит к заметному укорочению выпиленных пиломатериалов на 1,5–2 фута, рассекание длин при этом имеет характер биномиального рассеивания, а выход пиломатериалов (в % от оптимального) зависит от количества досок T , обрабатываемых в минуту, и определяется по формуле

$$O_2 = (95,8 - 0,9 T) \% .$$

10. Не следует полагать, что при завышении ширины обрезки потери выхода частично компенсируются повышением отходности пиломатериалов, так как завышение ширины обрезки совместно с ошибками при ориентировании доски по поставу пил обрезающего станка вызывает укорочение досок (до 4,8–5,2 фута) и приводит к получению большого количества коротких пиломатериалов, имеющих пониженную стоимость и ограниченный сбыт.

11. При разработке системы автоматического управления операцией обрезки необходимо базироваться на применении станка с симметричным раздвижением пил и в структуре системы предусмотреть следующие функциональные устройства:

- впередистаночное устройство;
- измерительное устройство;
- управляющую вычислительную машину;
- устройство управления перемещением пил обрезающего станка.

12. Впередистаночное устройство должно представлять собой четырехзахватный центрирующий механизм с расстановкой захватов по следующей схеме:

- а) первый (вершинный) захват — на расстоянии 1,2–1,5 метра от вершинного торца доски;
- б) второй, третий и четвертый (комлевые) захваты соответственно на расстоянии 3,5; 4,5; 5,4 м от вершинного торца доски.

13. Измерительное устройство должно включать дискретные датчики ширины и длины, измеряющие длину доски и ширину ее наружной пласти в нескольких сечениях в соответствии с сеткой стандартных размеров. Датчики длины должны быть расположены с шагом в одну стандартную градацию длины; расстояние между смежными датчиками ширины может быть увеличено до 4 стандартных градаций длины. При такой расстановке датчиков потери выхода из-за погрешностей измерения не превысят 1,5 %.

14. Управляющую вычислительную машину целесообразно выполнить в виде аналогового устройства, осуществляющего автоматический поиск оптимального варианта раскроя по методу последовательных испытаний в соответствии с принятым критерием оптимального управления.

15. Технологические исследования и результаты испытаний отдельных устройств системы показали, что автоматизация управления операцией обрезки технически возможна и должна дать экономический эффект порядка 9 тыс.руб. в год на поток за счет улучшения раскроя сырья на этой операции.

Заключение

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить все исходные данные, необходимые для проектирования системы автоматического управления операцией обрезки, показать ее экономическую эффективность и техническую возможность создания отдельных блоков. Реализация основных результатов исследований составляет задачу специальных проектных и конструкторских работ, которые предусмотрены в перспективном плане внедрения новой техни-

ки на 1971-75 гг. Разработка технологического задания на систему автоматического управления операцией обрезки включена в план научно-исследовательских работ ЦНИИМОД на 1971 год.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании лесопильных цехов, обучении рабочих и представляют интерес для инженерно-технических работников предприятий. В частности, результаты исследования влияния производственных факторов на выход пиломатериалов при обрезке позволяют сравнить различные варианты решения узла обрезки, то есть дают основание для его оптимизации. Результаты математического моделирования операции обрезки расширяют существующие представления о раскросе необрезной доски и являются дополнением к теории раскроса пиловочного сырья. Выявленные закономерности рассеивания размеров при обрезке и частный критерий оптимального управления могут быть использованы при обучении обрезчиков и составлении инструкций для рабочих лесопильного производства.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. КОПЕЙКИН А.М. Математическое моделирование раскроса необрезных досок. В сб. Применение математических методов и вычислительной техники в лесной и деревообрабатывающей промышленности, Лесная промышленность, 1968.
2. КОПЕЙКИН А.М. Выбор критерия оптимального управления для операции обрезки. ЦНИИМОД, Научные труды № 23, 1969.
3. КОПЕЙКИН А.М. Исследование влияния некоторых производственных факторов на выход пиломатериалов при их обрезке. ЦНИИМОД, Научные труды № 24, 1970.
4. КОПЕЙКИН А.М., ДУНАЕВ В.Ф. Устройство управления операцией обрезки пиломатериалов. А.с. № 309811 В27в 5/04.

Основные результаты диссертационной работы доложены на Ученый Совете ЦНИИМОД в Координационных Советах ЦНИИМОД и КарНИИП в 1964-70 гг. и на семинаре по экспортному лесопиленению, проведенном объединением "Кареллесозэкспорт" в декабре 1969 года.

Работа выполнена в лабораториях перспективного развития и средств автоматизации ЦНИИМОД и на экспериментально-производственном заводе ЦНИИМОД "Красный Октябрь".

СЛ.06612. Подп. к печати 5.XI.1971г. Печ.л.1,375.Тир.150.Зак.486.

Архангельск, Набережная Ленина, 112. Ротапринт ЦНИИМОД