

674.05

М 59

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР

Белорусский технологический институт имени
С.М.Кирова

На правах рукописи

МИКУЛИНСКИЙ В.И.

"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ КРУГЛЫХ ПЛОСКИХ ПОПЕРЕЧНЫХ ПИЛ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ"

(42Г. Машины, оборудование и технология лесопильных
и деревообрабатывающих производств)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1967

+ 679,05
M-59

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР

Белорусский технологический институт имени
С.М.Кирова

На правах рукописи

МИКУЛИНСКИЙ В.И.



"ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ КРУГЛЫХ ПЛОСКИХ ПОПЕРЕЧНЫХ ПИЛ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ"

(42 Л. Машины, оборудование и технологии лесопильных
и деревообрабатывающих производств)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Минск 1967

2546 ар.

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте
им.С.М.Кирова.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Бершадский А.Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Батин Н.А. и кандидат технических наук, доцент Парамонов К.М.

Ведущее предприятие Бобруйский фанеро-древобрабатывающий
комбинат.

Автореферат разослан

1967 г.

Защита состоится 10 января 1968 г. на заседании
совета Белорусского технологического института им.
С.М.Кирова г.Минск, ул.Свердлова, 13, корпус 4, ауд.220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Ученый секретарь совета

XXIII съезд КПСС поставил перед деревообрабатывающей промышленностью задачу не только увеличить в новой пятилетке объем выпускаемой продукции, но и значительно улучшить её качество, путем совершенствования техники и технологии производства. Среди многих факторов, определяющих качество продукции и производительность труда, инструменту принадлежит важная роль. Плохой инструмент снижает производительность труда, ухудшает качество обработки, увеличивает расход сырья, энергии и требует дополнительных операций по устранению дефектов. В производстве мебели, паркета, строительных деталей, а также во многих специальных производствах операции поперечной распиловки такая же необходимая и ответственная, как и продольная распиловка. Выполняется эта операция на специальном оборудовании и специальными круглыми пилами. Эти пилы сложнее при подготовке и работают при меньших скоростях подачи, нежели пилы продольной распиловки. Из выполненных научно-исследовательских работ по поперечной распиловке можно назвать работы кандидатов технических наук Штенниковой Н.А., Смирнова А.А. и Есипова П.П., в которых рассматривается процесс поперечной распиловки применительно к условиям лесопильного производства. Объем проведенных исследований по поперечной распиловке в несколько раз меньше, чем по продольной. Сведения появляющиеся в периодической научно-технической литературе, как правило, отражают частный практический опыт отдельных предприятий и новаторов производства. На практике для сходных условий распиловки нередко применяются пилы, зубья которых значительно отличаются по форме и значениям углов. Такое положение можно объяснить не столько различиями в условиях работы пилы, сколько недостаточным объемом проведенных исследований и, вследствие этого, отсутствием научно-обоснованных рекомендаций. Таким образом постановка специального исследования по изысканию оптимальных профилей зубьев поперечных пил, применяемых в дерево-

лывания подрезанного с боков слоя древесины, а также указал на возможность образования стружки путем срезания. Кандидат технических наук Есипов П.П. экспериментально наблюдал два вида стружкообразования: путем срезания и путем скалывания стружки.

Однако, в проведенных исследованиях по геометрии стружки и стружкообразованию недостаточное внимание уделено установлению аналитических связей между угловыми параметрами зуба, геометрическими размерами стружки и такими технологическими параметрами, как ширина пропила и подача на зуб. Недостаточно рассмотрена также пространственная система сил действующих на стружку, т.к. неизвестны были основные углы между этими силами. Поперечные пилы в деревообработке работают при подачах на зуб в пределах 0,02-0,07 мм/зуб. Это требует, чтобы разница в высотах отдельных зубьев была меньше этой величины, иначе часть зубьев не будет касаться древесины. По нашему мнению, между стремлением получить малые подачи на зуб путем увеличения числа зубьев и их ручной, неточной, заточкой, существует определенное противоречие. Поэтому представляет интерес установить влияние неточностей по высоте зубьев на фактическую подачу на зуб. Известно далее, что снижение высоты зубьев при переточках зависит от угловых параметров зубьев, но аналитическая связь эта для зубьев с косой заточкой не установлена.

Таким образом принятую программу исследования можно конкретизировать и наметить для теоретического рассмотрения следующие вопросы: связь между углами, силы действующие на стружку, геометрия стружки, подача на зуб, заточка зубьев и стружкообразование.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Появилась в результате многолетних исканий и желания дать количественные связи там, где раньше мы ограничивались словесным описанием явления.

Связь между углами - наиболее важный и сложный вопрос для зубьев имеющих косую заточку [I]. На нашем рисунке I показаны углы:

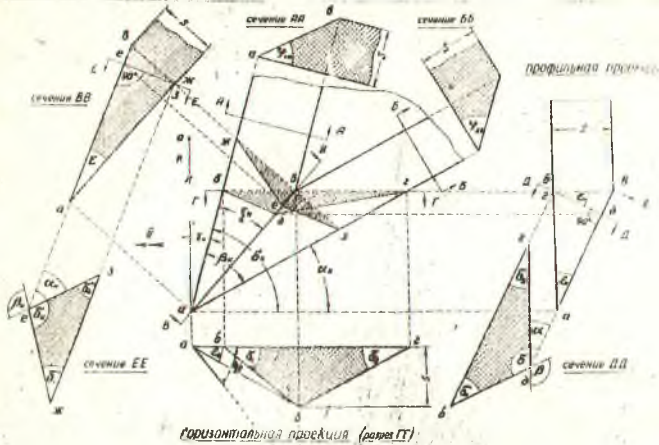


Рис. I

$\alpha_k \beta_k \delta_k \gamma_k \xi_k$

- контурные: задний, заострения, резания, передний и вспомогательный.

$E \beta_p \beta_2$

- углы наклона главной кромки ab к плоскости пилы: действительный, профильный и горизонтальный.

$\gamma_p \gamma_{1N} \gamma_{2N}$

- угол главной кромки на плоскости резания.

$\delta_1 \delta_2$

- углы косой заточки по передней и задней граням.

$\alpha_{N1} \alpha_{N2} \beta_{N1} \beta_{N2} \delta_{N1} \delta_{N2}$

- углы резания при передней ab и главной ab кромках.

- углы в плоскости нормальной к ab
- вспомогательные углы.

Получены формулы для определения следующих углов:

$$\operatorname{tg} \delta'_1 = \operatorname{tg} \varphi_{1n} \cdot \operatorname{Sin} \delta_k \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta'_2 = \operatorname{tg} \varphi_{2n} \cdot \operatorname{Sin} \alpha_k \quad (2)$$

$$\operatorname{Ctg} \varepsilon_n = \frac{\operatorname{Sin} \delta_k}{\operatorname{tg} \varphi_{2n} \cdot \operatorname{Sin} \beta_k} + \frac{\operatorname{Sin} \alpha_k}{\operatorname{tg} \varphi_{1n} \cdot \operatorname{Sin} \beta_k} \quad (3)$$

$$\operatorname{Ctg} \varepsilon_e = \frac{\operatorname{Cos} \delta_k}{\operatorname{tg} \varphi_{2n} \cdot \operatorname{Sin} \beta_k} + \frac{\operatorname{Cos} \alpha_k}{\operatorname{tg} \varphi_{1n} \cdot \operatorname{Sin} \beta_k} \quad (4)$$

$$\operatorname{Ctg} \delta = \frac{\operatorname{Sin} \varepsilon_n}{\operatorname{tg} \delta'_k} - \frac{\operatorname{Cos} \varepsilon_n}{\operatorname{tg} \varphi_{1n} \cdot \operatorname{Sin} \delta_k} \quad (5)$$

$$\operatorname{Ctg} \varphi_p = \frac{\operatorname{Sin} \varepsilon_n}{\operatorname{tg} \varepsilon_e} \quad (6)$$

$$\operatorname{Ctg} (90 - \varepsilon_{kp}) = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_{1n} \cdot \operatorname{Cos} \delta_k} \quad (7)$$

Указанные уравнения можно решать посредством номограммы на рис. 2, где приведен пример пользования номограммой.

Силы действующие на отступку показаны на рис. 3, а уравнения приводятся ниже:

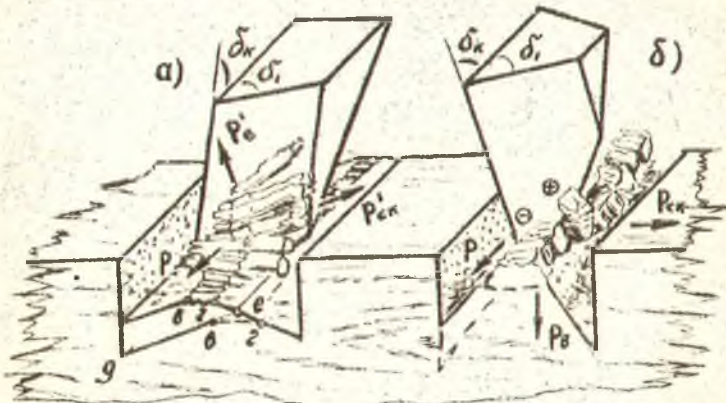


Рис. 3

НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ ЗУБА

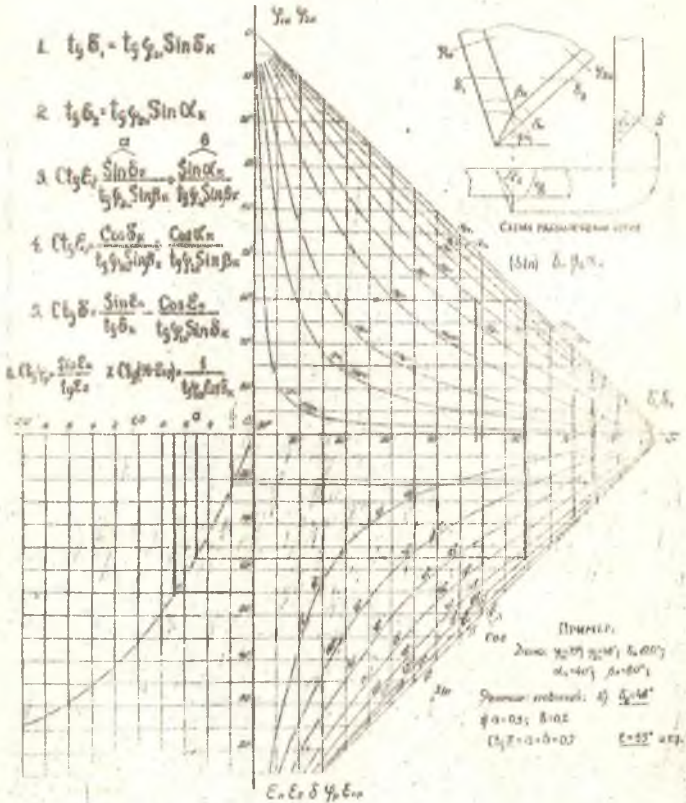


Рис. 2

а) Для стружки резания

$$P'_B = \frac{N' \operatorname{tg} \varphi_p \operatorname{Cos} \delta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_p + \operatorname{Sin}^2 \delta}} \quad (8)$$

$$P' = \frac{N' \operatorname{tg} \varphi_p \operatorname{Sin} \delta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_p + \operatorname{Sin}^2 \delta}} \quad (9)$$

$$P'_{CK} = \frac{N' \operatorname{Sin} \delta}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi_p + \operatorname{Sin}^2 \delta}} \quad (10)$$

б) для стружки скалывания

$$P_B = \frac{N' \operatorname{Sin} \delta_1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta_k + \operatorname{Sin}^2 \delta_1}} \quad (11)$$

$$P = \frac{N' \operatorname{tg} \delta_k \operatorname{Sin} \delta_1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta_k + \operatorname{Sin}^2 \delta_1}} \quad (12)$$

$$P_{CK} = \frac{N' \operatorname{tg} \delta_k \operatorname{Cos} \delta_1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \delta_k + \operatorname{Sin}^2 \delta_1}} \quad (13)$$

Указанные уравнения показывают характер изменения составляющих (P - резания, P_B - вертикальной, P_{CK} - скалывающей) нормального давления N по передней грани ($N' = N \sqrt{1 + f} = \text{Const}$) в зависимости от угловых параметров зубьев.

Геометрия стружки при поперечной распиловке зависит от способа ее образования (см. Рис. 3). При этом конфигурация отдельных стружек и наименование их номинальных размеров различны. Например средняя толщина стружки при срезании $e_a = \frac{b}{s} c \operatorname{Sin} \varepsilon_n$, а при скалывании $e_B = b = \text{Const}$. Однако номинальное очение стружки не зависит от способа её образования и угловых параметров зубьев. Максимальная подача на зуб, при которой вся главная (короткая) кромка участвует в резании определяется формулой:

$$c = \frac{b - 4s'}{\operatorname{tg} \varepsilon_n} \quad (14)$$

При сравнении (14) с аналогичной формулой профессора Дожового и А. С. $c = \frac{s}{2 \operatorname{tg} \varepsilon_n}$ устанавливаем, что последняя справедлива только для случая, когда соотношение между разводом и толщиной или равно $\frac{s'}{s} = 0,25$. Рабочая длина главной кромки ad ,

т.е. часть её полной длины $\frac{S}{\sin \epsilon_n}$, которая участвует в формировании наклонной стенки два пропила равна:

$$ad = \frac{b}{2 \sin \epsilon_n} + \frac{c}{2 \cos \epsilon_n} \quad (15)$$

При $\epsilon_n = 0$ и $\epsilon_n = 90^\circ$ независимо от b и c ad возрастает до бесконечности. Это говорит о том, что между двумя максимумами должен быть один минимум функции. Найдя его для различных $\frac{b}{c}$ можно построить графики показанные на рисунке 4.

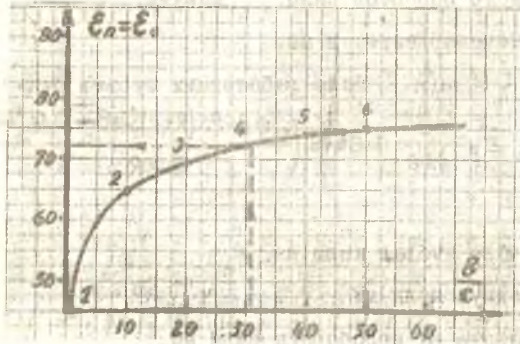


Рис. 4

Этот график связывает технологические параметры резания шпигу пропила b и подачу на зуб c с оптимальным значением профильного угла $\epsilon_n = \epsilon_n$.

Подача на зуб, как известно, определяется формулой

$C = \frac{1000 U}{z n}$ — мм/зуб. При наличии разновысоких зубьев, подача на каждый из них определяется по формуле:

$$c_i = [ic - (c_1 + c_2 + \dots + c_{i-1})] - \frac{\Delta R_i}{\sin \theta} \quad \text{мм/зуб} \quad (16)$$

где: i — порядковый номер зуба по направлению вращения, считая первым самый выступающий.

c — расчетная подача на зуб.

$c_1 + c_2 + \dots + c_{i-1}$ — сумма подач предыдущих зубьев.

ΔR_i — снижение зубьев в мм относительно первого зуба.

Θ - угол встречи в градусах.

При идеальном расположении вершинок зубьев в относительно центра пилы, но при её эксцентричной установке, возникает условия, приводящие к неучастию отдельных зубьев в работе. Минимальная скорость подачи, при которой и в этом случае работают все зубья, определяется:

$$U_{\min} = \frac{4ne}{1000 \sin \Theta} \quad \text{м/мин} \quad (17)$$

где n - число оборотов пилы в минуту.

e - эксцентриситет в мм.

При $U < U_{\min}$ число работающих зубьев будет:

$$Z_p = \frac{Z}{180} \arccos \left(\frac{2eR - 2S(R+e)\sin\Theta + S^2\sin^2\Theta}{2eR} \right) \quad (18)$$

где: Z - число зубьев пилы шт.

R - радиус пилы мм

S - подача на по оборота пилы мм.

Заточка зубьев является самостоятельным и достаточно сложным вопросом. Здесь отметим лишь её особенности в связи с косой заточкой. Снижение высоты зуба после заточки составит:

$$A = \frac{a_1 \sin \alpha_k}{\sin \beta_k \sin \varphi_{1N}} + \frac{a_2 \sin \delta_k}{\sin \beta_k \sin \varphi_{2N}} \quad \text{мм} \quad (19)$$

где a_1 и a_2 - соответственно толщина шлифовываемого слоя по нормали к затачиваемым граням для передней и задней граней зуба.

При угле поворота точильного камня равно φ_{1N} угол косой заточки по задней грани будет несколько большим:

$$\text{tg } \varphi_{2N} = \frac{\text{tg } \varphi_{1N}}{\cos \beta_k} \quad (20)$$

Стружкообразование при поперечной распиловке значительно сложнее, чем при продольной распиловке. Это объясняется прежде всего тем, что стружка и момент образования находится под воздействием пространственной системы сил. Три составляющие нормального давления на передней грани зуба составляет с направлением волокон древесины различные углы и вызывают, естественно, в древесине различные по величине деформации и степень разрушения. Значение и роль отдельных частей зуба, его линейных и угловых параметров различна, поскольку зуб пилы должен не только отделять срезаемый слой от массива древесины, но и транспортировать стружку из пропила. Например при малых углах косой заточки перерезание волокон и сдвигание подрезанного слоя будет проходить легче, при меньших деформациях стружки. Однако, образовавшаяся стружка будет плохо удерживаться на передней грани, будет перемещаться поперек пропила, просаркиваться и испытывать повторное дробление последующими зубьями. Влияние контурного угла резания на этот процесс будет незначительным, поскольку стружка перемещается поперек передней грани, а не вдоль её. При больших углах косой заточки возрастает деформации в срезаемом слое, но вероятность повторного дробления снижается, так как стружка лучше удерживается на передней грани. При этих условиях влияние контурного угла возрастает, поскольку стружка, не испытывая достаточного воздействия от сдвигающей силы $P_{сд}$, должна перемещаться вдоль передней грани зуба. Поэтому при $\delta_k < 90$ стружка легче отходит от дна пропила, а при $\delta_k > 90$ прижимается к нему, затрудняя движение реза трением. При контурном угле резания $\delta_k < 90^\circ$ и достаточно большом значении профильного угла ϵ_n создаются условия, когда главная кромка может иметь угол резания $\delta_k 90$ и способна срезать стружку. Математически это условие можно за-

писать так:

$$\varepsilon_n > \varepsilon_{кр} = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_{1n} \cos \delta'_x} \quad (2I)$$

При $\varepsilon_n = 2 \operatorname{tg} \varepsilon_{кр}$ создаются условия когда угол резания при боковой кромке равен углу резания при главной кромке т.е. $\delta'_1 = \delta'$. В условиях, когда $\delta' < 90$ характер стружкообразования меняется. (см. Рис. 3а). Такой вид стружкообразования, когда стружка отделяется от массива путем срезания, очень желателен, по нашему мнению, для материалов где нет выраженной волокнистой структуры и где само понятие "скалывание" теряет свой физический смысл.

На основе теоретического рассмотрения вышеизложенных вопросов, можно констатировать.

I. Формулы I+7 для определения важнейших углов зуба с косою заточкой являются общими и охватывают все имеющиеся в литературе частные решения [4,5,6]. Для определения углов $\delta'_1, \delta'_2, \delta'_x, \varepsilon_n$

$\varepsilon_{кр}, \varepsilon_2$ построена одна общая номограмма, позволяющая определять эти углы в широких пределах и с точностью достаточной для практических целей. Для определения указанных углов в практических пределах значений углов, данная номограмма может быть упрощена (см. Рис. 5).

Все углы взаимосвязаны и нельзя автономно изменять один из них, сохраняя остальные постоянными. Полученные зависимости позволили на новой основе рассмотреть многие вопросы, связанные с косою заточкой зубьев в пил и другие вопросы, связанные с геометрией дереворезающих инструментов [7].

2. Величина составляющих нормального давления по передней грани и их направление зависят главным образом от угла косою заточки по передней грани φ_{1n} и контурного угла резания δ'_x . Характер изменения этих составляющих показывает, что при малых

углах косо́й заточки влияние контурного угла уменьшается, а при больших увеличивается. В последнем случае вертикальная составляющая $P_{\text{в}}$ в зависимости от значения контурного угла $\delta_k^{\text{в}}$ меняет свое направление, при $\delta_k^{\text{в}} < 90^\circ$ она направлена вверх, а при $\delta_k^{\text{в}} > 90^\circ$ - вниз.

Это говорит о том, что при малых углах косо́й заточки можно иметь контурный угол $\delta_k^{\text{в}} \geq 90^\circ$, а при больших целесообразно иметь $\delta_k^{\text{в}} < 90^\circ$.

3. Исследование геометрии стружки позволило теоретически определить оптимальное значение ξ_n в зависимости от соотношения ширины пропила к подаче на зуб $\frac{b}{c}$. Отметим, что полученная закономерность полностью совпадает с положениями профессора Грубе А.Э. (см. стр. 3) и является дальнейшим их развитием.

4. Анализ формул 16-18 показал, что при ручной заточке пил примерно половина зубьев не участвует в резании. При этом с уменьшением угла встречи и скорости подачи количество участвующих в резании зубьев резко уменьшается и возможны случаи, когда из-за этого толщина стружки $e = C \cdot \delta \sin \theta$ не только не уменьшается, но даже увеличивается. Дальнейшие исследования в этом направлении помогут установить соответствие между применяемой величиной подачи на зуб и требованиями к точности подготовки зубьев по высоте. По-нашему мнению, увеличение числа зубьев поперечных пил, при сохранении их ручной заточки, нецелесообразно. Можно несколько уменьшить число зубьев, но повысить точность их подготовки по высоте, путем заточки на автоматах. Это снизит трудозатраты на заточку пил, не снижая качества поверхности пропила.

Полученные зависимости 16-18 могут быть применены для любых дереворезающих инструментов, имеющих вращающиеся резцы и позволяют с новых позиций оценить требования к заточке и установить

резов, изучению их затупления и стружкообразования.

5. Стачивание зубьев по высоте, при одинаковой толщине снимаемого слоя, меньше для зубьев несимметричного профиля, у которых задний контурный угол α_k меньше, а угол заточки β_k больше. При заточке несимметричного профиля на автомате есть возможность иметь угол косой заточки по задней грани φ_{2N} несколько больший, чем по передней грани φ_{1N} .

6. С учетом сил действующих на стружку, значений углов, а также направления волокон древесины при поперечной распиловке, можно констатировать:

а) Угол косой заточки по передней грани φ_{1N} влияет на условия перерезания волокон древесины у стенки пропила, на процесс скалывания и перемещения стружки в плоскости перпендикулярной и плоскости пилы.

б) Контурный угол резания δ_k^v влияет на процесс удаления стружки от дна пропила в плоскости пилы. При $\delta_k^v < 90^\circ$ стружка отводится от дна пропила и создаются условия для положительного значения угла δ^v при главной кромке. При малых углах косой заточки влияние δ_k^v меньше, т.к. стружка легко сдвигается и перемещается в сторону. Наоборот, при больших значениях φ_{1N} влияние контурного угла резания возрастает.

Таким образом возможны сочетания углов:

$\varphi_{1N} \approx 45^\circ$ и $\delta_k^v \approx 90$ градусов, а также $\varphi_{1N} \approx 80^\circ$ и $\delta_k^v < 90$;

в) Угол ϵ_n влияет на процесс резания через силы трения: при малых его значениях силы трения возрастают. Каждому значению $\frac{b}{c}$ соответствует свое оптимальное значение $\epsilon_n = \epsilon_0$. При этом значении главная кромка касается дна пропила наименьшей частью своей полной длины.

г) Угол δ при главной кромке в большинстве случаев больше 90 градусов, т.е. образование стружки идет преимущественно путем скалывания. При $\delta_k < 90^\circ$ в зависимости от ε_n угол $\delta \geq 90^\circ$. Это означает, что при $\delta_k < 90$ стружкообразование может идти как путем скалывания, так и путем срезания. Но в обоих случаях стружка будет хорошо отводиться от дна пропила. В тоже время при $\delta > 90$ имеет место прижим стружки к дну пропила в момент её образования. Это говорит о том, что при $\delta_k < 90^\circ$ может иметь место некоторый отжим древесины, препятствующий затягиванию пилы. Таким образом наличие положительного контурного угла резания δ_k еще не означает, что во время распиловки должно быть обязательно затягивание пилы или древесины. Для этого необходимо, чтобы угол δ был также положительным. Поэтому сочетание углов $\delta_k < 90$ и $\delta > 90$ представляет практический интерес, поскольку такое сочетание обладает достоинством симметричного профиля в части наличия прижима распиливаемого материала, и одновременно имеет благоприятные условия для отвода стружки.

В заключение отметим, что выводы, вытекающие из теоретического анализа не противоречат имеющимся в литературе сведениям, а лишь углубляют и уточняют их.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Обширное теоретическое исследование, предпринятое в предыдущей части позволяет наметить для экспериментирования четкую программу, с тем чтобы получить опытные подтверждения основных теоретических выводов, уточнить и дополнить некоторые количественные связи. Для экспериментальной проверки намечены: 4 значения контурных углов $\delta_k = 60 - 80 - 100 - 120^\circ$ (задний контурный угол

$\alpha_k = 20^\circ$), три угла косой заточки по передней грани $\varphi_{1N} = 45 - 65 - 85^\circ$, три угла косой заточки по задней грани $\varphi_{2N} = 45-65-85^\circ$. При этом предусмотрены все возможные комбинации контурных углов и углов косой заточки, а именно $4 \times 3 \times 3 = 36$ комбинаций. Подробное исследование технологических параметров (угол встречи, высота и ширина пропила, скорость резания, диаметр пил, расположение пилы относительно распиливаемого материала) не предусматривалось, поскольку по этим параметрам имеются достаточные и совпадающие данные двух авторов.

Учитывая значительные колебания подачи на зуб в практике поперечной распиловки, и учитывая её определяющее влияние на силовые и качественные показатели процесса, нами приняты 4 значения $S = 0,025 - 0,05 - 0,1 - 0,15 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$. В качестве основных оценочных показателей процесса приняты: удельная работа резания $K \frac{\text{кгм}}{\text{см}^3}$, усилие подачи P_n , усилие прижима к столу P_c в килограммах, а также максимальная высота неровностей поверхности пропила H_{max} в микронах. Для сравнения в дополнительной серии опытов испытан симметричный профиль $\alpha_k = 60^\circ$, $\alpha_k = 60^\circ$ с теми же комбинациями углов косой заточки. Методической сеткой, которая приведена в реферируемой работе, предусмотрено таким образом исследование различных комбинаций $\alpha_k \varphi_{1N} \varphi_{2N}$ при четырех подачах на зуб. Для каждой из указанных комбинаций подсчитаны по соответствующим формулам значения $\sigma \varepsilon \text{ и } \varepsilon_{kr}$, которые представлены в методической сетке и изображены графически на практическом графике Рис.5.

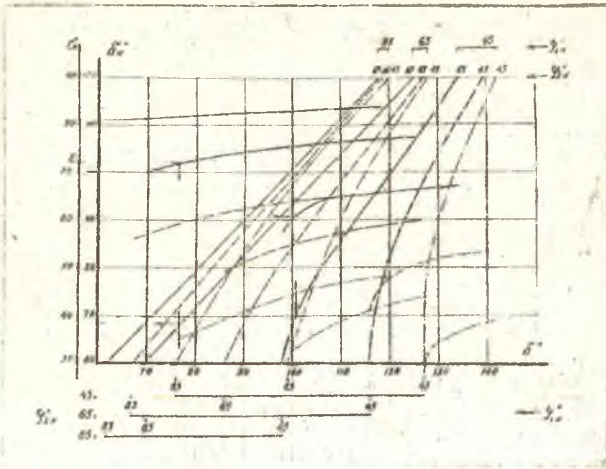


Рис. 5

2546 ар.

Например при $\delta_k^v = 80^\circ$, $\varphi_{1N} = 85^\circ$, $\varphi_{2N} = 85^\circ$ по графику имеем $\delta_n \approx 82^\circ$ и $\delta^v = 80^\circ$. На практическом графике можно определять δ^v и δ_n для промежуточных значений δ_k . Например при $\delta_k^v = 70^\circ$, $\varphi_{1N} = 45^\circ$, $\varphi_{2N} = 85^\circ$ получим $\delta_n = 61^\circ$ и $\delta^v = 101^\circ$. (Последнее решение показано на графике стрелками).

Каждая опытная точка имеет свою марку по схеме $\delta_k^v \frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} C$. Например график $\delta_k^v \frac{45}{85} 0,1$ (см. Рис. 6а) имеет 12 опытных точек: для четырех значений δ_k^v и трех значений φ_{2N} . Угол косой заточки по передней грани постоянен и равен $\varphi_{1N} = 45^\circ$, подача на зуб $C = 0,1 \frac{mm}{z}$ также постоянна.

На каждую опытную точку проведено 10 резов, для которых определено среднее арифметическое M , среднее квадратическое отклонение G и показатель точности R .

На экспериментальной установке в качестве основного регистрирующего прибора использован 14^{ТИ} шлейфовый осциллограф ЮБ-14, которым записывались: усилие подачи, усилие прижима заготовки к столу, мощность на резание, высота неровностей пропила [3]

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

число оборотов пилы, отметка времени, номер опыта [2], вибрации пилы. С осциллограмм, посредством специального шаблона, градуированного в измеряемых единицах, данные переносились в журнал. Осциллографическая запись мощности на резание сверялась с показаниями ваттметра, а данные профилограммы дополнительно контролировались измерениями на приборах ТСП-2 конструкции Б.М. Буглая и МИС-II. Тарировка механизма резания - динамическая. В качестве распиливаемого материала использовались сосновые и дубовые доски толщиной 30 мм и влажностью 6-8 процентов, из которых набирались щитки размером 30x150x1000 мм. Факторы поддерживаемые постоянными приведены в таблице I.

№ пп	Наименование	Обозначение	Ед. изм.	Численное значение	Примечание
1.	Подъем стола	a	мм	125	
2.	Угол встречи	α	град.	45	
3.	Высота пропила	h	мм	30	
4.	Ширина пропила	B	мм	3,1	
5.	Число оборотов пилы	n	об/мин	3000	
6.	Диаметр пил	d	мм	400	
7.	Число зубьев	Z	шт	72	
8.	Скорость резания	v	м/сек	62	
9.	Развод на сторону	S'	мм/ст	0,35	
10.	Подачи на зуб	C	мм/зуб	0,025-0,05 0,1-0,15	
II.	Породы древесины	сосна и дуб			

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основные результаты экспериментов приведены: на Рис.6 - влияние углов косо́й заточки по передней и задней грани на удельную работу резания для различных контурных углов, на Рис.7 - влиянию подачи на зуб на удельную работу резания для различных углов косо́й заточки и контурных углов, на Рис.8 - влияние контурных углов и углов косо́й заточки на высоту неровностей поверхности пропила H_{max} . Проанализируем полученные экспериментальные данные с учетом выводов теоретической части, а также литературных и производственных данных.

На Рис.6а показано влияние угла косо́й заточки по задней грани φ_{2N} при контурных углах $\delta'_k = 60-80-100-120^\circ$ и постоянных угле косо́й заточки по передней грани $\varphi_{1N} = 45^\circ$ и подаче на зуб $S = 0,1 \frac{мм}{зуб}$. Из графика следует, что увеличение угла косо́й заточки φ_{2N} ведет к снижению удельной работы резания. По графику Рис.6 можно установить, что увеличение φ_{2N} ведет к увеличению профильного угла ϵ_n примерно на 22° и уменьшению угла δ' примерно на такую-же величину (для $\delta'_k = 60^\circ$). Изменение ϵ_n и δ' происходит в благоприятную сторону. Этим можно объяснить снижение удельной работы резания для этого случая. На Рис.6б увеличение φ_{1N} вызывает рост удельной работы резания, несмотря на то, что углы δ' и ϵ_n изменяются, как и в случае 'а' в благоприятную сторону. Таким образом увеличение угла косо́й заточки по задней грани желательно, а по передней, в связи с ростом удельной работы резания, нет. В целом сочетание углов косо́й заточки $\varphi_{1N} < \varphi_{2N}$ положительный фактор. На Рис.6в показано именно такое сочетание. Из приведенного графика следует, что наиболее благоприятное сочетание углов косо́й заточки $\varphi_{1N} = 65^\circ$

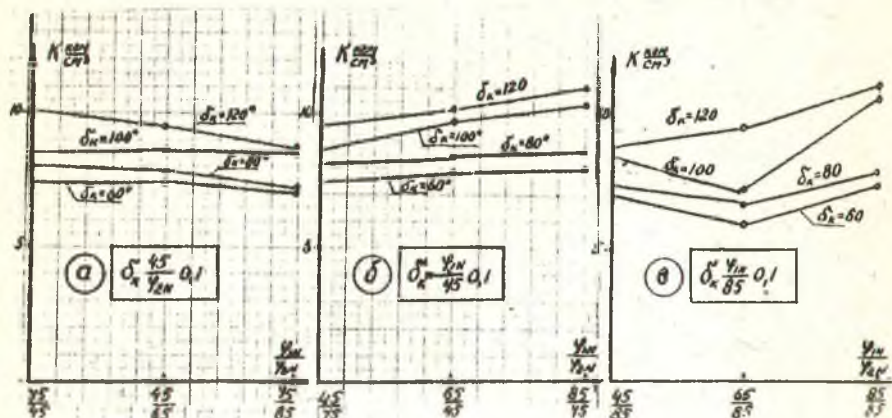


Рис. 6

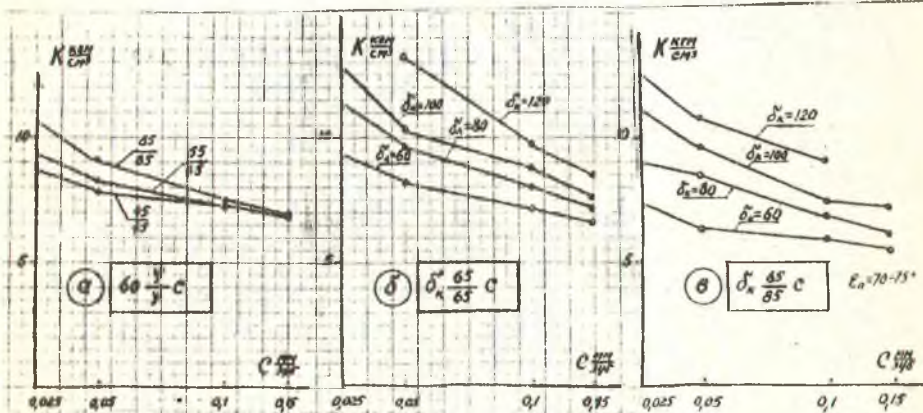


Рис. 7

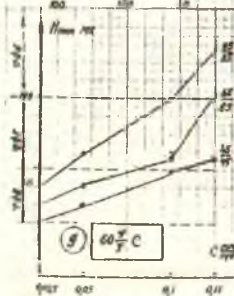
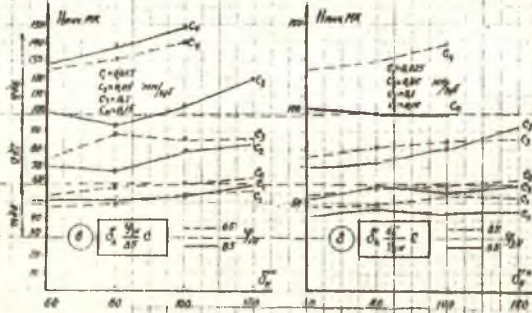
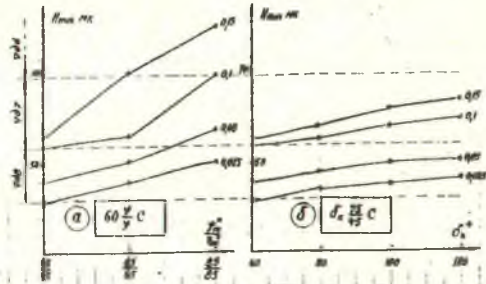


FIG. 8

и $\varphi_{2N} = 85^\circ$. Это можно объяснить следующим образом. При углах $\frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} = \frac{45^\circ}{85^\circ}$ углы δ^N и ϵ_N (см. Рис. 5) менее благоприятны, чем при $\frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} = \frac{65^\circ}{85^\circ}$ и тем более для $\frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} = \frac{85^\circ}{85^\circ}$. Как было установлено выше, увеличение угла косо́й заточки по передней грани ведет к росту удельной работы резания. Таким образом в диапазоне углов $\frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} = \frac{45^\circ}{85^\circ} \div \frac{65^\circ}{85^\circ}$ происходит некоторый рост удельной работы резания K за счет увеличения φ_{1N} и снижение K за счет уменьшения δ^N и увеличения ϵ_N . В диапазоне углов косо́й заточки $\frac{\varphi_{1N}}{\varphi_{2N}} = \frac{65^\circ}{85^\circ} \div \frac{85^\circ}{85^\circ}$ происходит более интенсивный рост K за счет φ_{1N} , который уже не перекрывается за счет изменения δ^N и ϵ_N . По этой причине мы и получаем падение K при $\varphi_{1N} = 65^\circ$ и $\varphi_{2N} = 85^\circ$. Интересно отметить еще два обстоятельства. При этом соотношении углов косо́й заточки, наиболее благоприятным диапазоном контурных углов является $\delta^N_k = 60-80^\circ$. Далее, при соотношении $\frac{b}{c} = \frac{3,1}{9,1} = 3I$ по графику Рис. 4 имеем $\epsilon_N = \epsilon_0 = 72^\circ$, и по графику (Рис. 5) $\delta^N = 66^\circ$ и $\epsilon_N = 70^\circ$. Таким образом получаем примерное равенство:

$$\delta^N_k \approx \varphi_{1N} \approx \varphi_{2N} \approx \epsilon_N \approx \epsilon_0 \approx \delta^N \approx 70 \text{ градусов.}$$

Это еще больше убеждает нас в том, что углы $\delta^N_k = 70^\circ$ $\varphi_{1N} = \varphi_{2N} = 70^\circ$ и $\alpha^N_k = 20^\circ$ близки к своим оптимальным значениям.

На Рис. 7 а, б, в показано влияние подачи на зуб С на удельную работу резания для различных контурных углов и углов косо́й заточки. Из графиков рис. 7, а также по другим нашим данным, которые приведены в работе, можно сделать вывод, что удельная работа резания при увеличении подачи на зуб во всех случаях снижается. Это снижение происходит более интенсивно для контурных углов $\delta^N_k > 90^\circ$ и углов косо́й заточки близких к своему максимальному значению. При $\varphi_{1N} = \varphi_{2N} = 45^\circ$ влияние δ^N_k незначительно, а при $\varphi_{1N} = \varphi_{2N} = 85^\circ$ оно большое. При увеличении подачи на

зуб $C > 0,1$ (это возможно, если нет ограничений по качеству), влияние угловых параметров зубьев в значительной степени снижается. Это можно объяснить характером стружкообразования. При малых подачах на зуб измельчение стружки больше и процент потерь на трение в общем расходе энергии также больше. При увеличении подачи на зуб это соотношение изменится в благоприятную сторону. Следовательно можно предполагать, что благодаря оптимальной геометрии зубьев поперечных пил снижаются в первую очередь потери энергии на трение.

На Рис.8 даны результаты измерений H_{max} для зубьев с различными контурными углами, углами косой заточки, а также для различных подач $C \frac{мм}{зуб}$. Из приведенных графиков можно заключить, что большее влияние на чистоту поверхности оказывает угол косой заточки по передней грани и величина подачи на зуб, которая не должна быть больше $C = 0,1$ мм. (Особенно если учитывать, что качество подготовки пил в производственных условиях будет ниже чем в лабораторных). Что касается влияния на H_{max} контурного угла, то оно незначительно.

Сравнение симметричного и несимметричного профилей показало, что по величине удельной работы и чистоте поверхности несимметричный профиль с контурным углом $\delta_k < 90^\circ$ эффективнее. Если оценивать эти профили с точки зрения достаточной устойчивости распиливаемого материала во время пиления, то наши данные совпадают с данными П.П. Есипова, т.е. для станков с верхним расположением пилы необходимо иметь контурный угол $\delta_k > 90^\circ$. Исключение составляют станки с механической подачей, когда материал и пила во время распиловки зафиксированы относительно друг друга. Закономерности изменения удельной работы резания установленные для сосны, сохранятся и для дуба, с той лишь разницей, что по абсолютной величине K в 1,5-2 раза больше. Опыт применения поперечных пил в деревообрабатывающей про-

мышленности показал, что углы косо́й заточки и контурные углы, для распиловки твердых пород примерно на десять градусов больше, чем для распиловки мягких пород. Поскольку имеющиеся в эксплуатации пилоточные автоматы не приспособлены для однопроходной заточки с разными углами по передней и задней граням, то необходимо принять $\varphi_{1N} = \varphi_{2N}$. Величина угла косо́й заточки не может быть меньше 60 градусов, опять же по причине невозможности ее выполнения на автоматах.

Учитывая результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также огласуясь с условиями эксплуатации и подготовки поперечных пил в деревообработке, можно рекомендовать для станков с нижним расположением пилы, угловые параметры: контурный угол $65-75^{\circ}$, угол косо́й заточки $65-75^{\circ}$ (одинаковый по передней и задней граням) и задний контурный угол 20° . Меньшие значения углов для распиловки древесины сосны, большие для древесины дуба. При подаче на зуб не более 0,1 мм, аккуратном выполнении развода и автоматической заточке, можно обеспечить такими пилами чистую распиловку не ниже седьмого класса по ГОСТ 7016-54.

Рекомендуемые угловые параметры близки к оптимальным, не противостоят литературным и производственным данным, не вызывают затруднений при выполнении их на автоматах, пригодны для применения пластинок из твердых сплавов, облегчают перенастройку автоматов при переходе на заточку пил продольной распиловки. Линейные размеры пил с рекомендуемыми углами находятся в пределах ГОСТ 980-53 и ГОСТ 980-63 на круглые пилы.

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований можно заключить:

1. Установлены общие аналитические связи между углами зуба с косо́й заточкой, которые охватывают все ранее известные частные формулы. Разработаны номограммы, облегчающие определение всего комплекса

углов.

2. Использование уравнений, связывающих угловые параметры, позволило более углубленно рассмотреть геометрию стружки, силы действующие на стружку, подачу на зуб, заточку зубьев и стружкообразование при поперечной распиловке. Это рассмотрение вскрыло новые возможности для дальнейшего совершенствования поперечных пил.

3. Проведенные экспериментальные работы подтвердили основные выводы теоретической части и уточнили количественные соотношения между основными параметрами процесса поперечной распиловки.

4. Применение рекомендуемых угловых параметров не требует дополнительных затрат, упрощает подготовку пил, улучшает качество продукции и увеличивает производительность труда.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ АВТОРА

1. О связи между угловыми параметрами зуба с кривой заточкой. Сборник научных трудов БТИ им.С.М.Кирова, вып.Х, 1957.
2. Нумератор осциллограмм. Приборы для измерения электрических и магнитных величин. ВИНТИ 1958 .
3. Профиллометр на датчиках сопротивления. Сборник научных трудов БТИ им.С.М.Кирова вып.ХІ 1959.
4. О профилях зубьев поперечных пил. БТИ. Материалы научно-технической конференции, 1959.
5. О профилировке зубьев пил для поперечной распиловки. Лесной журнал № 4, 1960.
6. Исследования профилей поперечных пил. Материалы совещания научно-технического совета: Рациональные режимы резания и оптимальные конструкции режущего инструмента для обработки древесины. Тезисы докладов. Москва, 1960.
7. О кромке расположения волокон пил. 2-й "Дорожнообработывающая промышленность" № 3 1961.
8. Теоретическое и экспериментальное исследование поперечной распиловки. БТИ им.С.М.Кирова. Тезисы докладов научно-технической конференции посвященной 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции. 1967.

Лт. 00456. Зак. 301. Тир. 150 экз.

Отпечатано на ротапринте БТИ, Свердловск., 1967.