

Доктор техн. наук А. Л. БЕРШАДСКИЙ

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА И РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ПРОДОЛЬНОГО ПИЛЕНИЯ ДИСКОВЫМИ ПИЛАМИ

Исследования по резанию древесины, в том числе по продольному пиленю дисковыми пилами, до настоящего времени ограничивались:

- а) решением отдельных частных случаев;
- б) сведением полученных опытных данных в таблицы и графики;
- в) рецептурно-описательными рекомендациями.

Высшая форма обобщения в виде формул резания, концентрирующих, как в фокусе, основные связи между факторами процесса резания древесины, как материала, не обладающего сплошной структурой, почти не имела места.

Процесс резания, основанный на делимости, пластическом и упругом деформировании древесины, является процессом физическим, управляемым общими законами. Эти общие законы не могли не отражаться в частных исследованиях, кажущихся несопоставимыми друг с другом.

Эта кажущаяся несопоставимость результатов явилась следствием «табличной» фиксации результатов опытов без их дальнейшего обобщения. Стремление же рассматривать частный случай исследования как общую рекомендацию приводит к ошибочным предложениям. Это имеет место в «Инструкции по выбору режимов пиления круглыми пилами при продольной распиловке древесины хвойных пород» (Министерство лесной промышленности СССР, ЦНИИМОД, 1956 г.). «Инструкция» по части рас-

чета режимов пиления основывается на опытах Н. К. Якунина, проведенных в очень широком диапазоне при изменении скорости резания v от 20 до 120 м/сек, высоты пропила h от 20 до 120 мм и подачи на зуб S от 0,26 до 1,4 мм. Эти наиболее полные и тщательно проведенные исследования все же имели частное значение. Так как, за счет подъема стола при разных высотах пропила h , поддерживался постоянный средний угол встречи θ между скоростью резания V и подачи $\bar{U} - \angle \theta = 61^\circ$. Диаметр пилы был $D = 500$ мм и угол резания $\angle \delta = 60^\circ$.

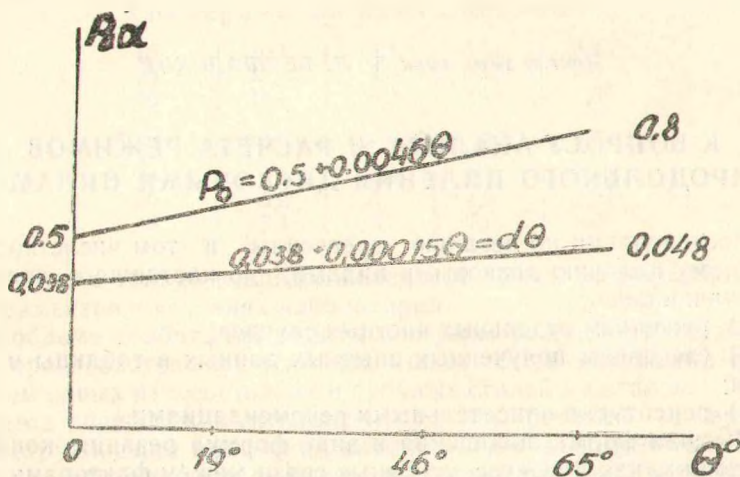


Рис. 11. График изменения $p_{z\phi}$ и K_ϕ при $\psi = \theta$

Полученные при этих условиях значения удельной работы $K \frac{\text{кгм}}{\text{см}^3}$ увеличивались в 1,7 раза с увеличением высоты пропила h от 20 до 120 мм, то есть в шесть раз. Мощность резания N увеличивалась при этом в $6 \times 1,7 \approx 10$ раз. Полученные «табличные» значения удельной работы $K \text{ кг м/см}^3$ были рекомендованы для расчетов силовых параметров и производительности при пилении.

До этих опытов, в 1932 г. в ЦНИИМОДе были проведены исследования М. Каюковой при $D = 600$ мм при изменении высоты пропила h от 25 до 84 мм. Стол станка оставался на одном

уровне, в силу чего угол Θ менялся от $70^{\circ}30'$ до $64^{\circ}30'$, а удельная работа K оставалась (при одной и той же скорости подачи $U = 28$ м/мин) постоянной ($K \approx 5,5$ кгм/см³).

В 1960 г. были опубликованы исследования Н. К. Якунина по распиловке тонкомерного леса на многопильных круглопильных станках, где при $D = 900$ мм и изменении высоты пропила h от 60 до 240 мм, то есть в четыре раза, угол Θ менялся от 46 до 63°, а удельная работа K уменьшалась от 13 до 6,5 кгм/см³, то есть в два раза.

Наконец, в том же 1960 г. публикуется работа «Распиловка бревен и брусьев на круглопильных станках» (Н. К. Якунин), где по материалам исследований Эндрюса (Канада, 1955 г.) устанавливается, что при росте высоты пропила h с 50 до 300 мм, то есть в шесть раз, мощность растет с 12,5 до 77,5 квт, то есть в 6,2 раза (а не в десять раз, как по инструкции 1956 г.). Следовательно, для данного случая $K \approx \text{Const}$, как и в опытах М. Каюковой.

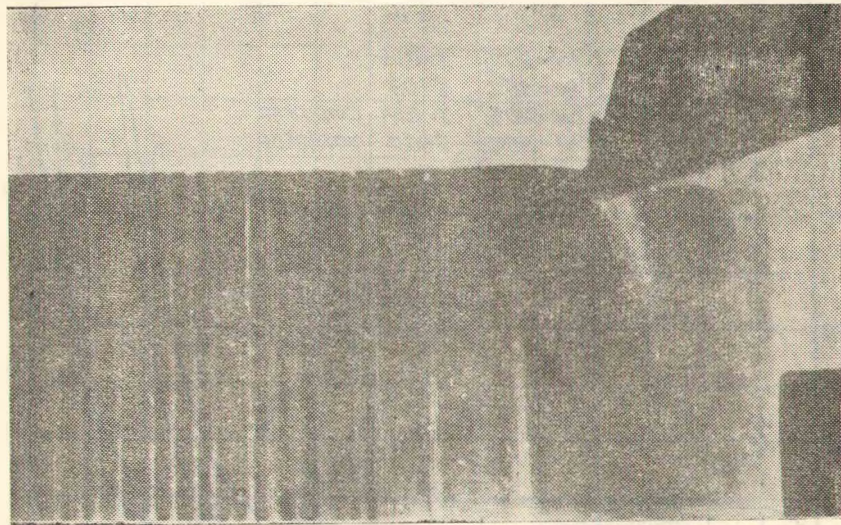


Рис. 1. Рентгеновский снимок клиновидного реза в древесине.

Достаточно приведенного, чтобы понять о полном неблагоприятии с рекомендациями по расчету режимов продольной распиловки древесины круглыми пилами.

Представляющие большой интерес опыты Н. И. Давыдовой (БЛТИ, диссертация и «Деревообрабатывающая промышленность», № 7, 1955 г. и № 7 1957 г.) при разных $\angle \Theta$ от 19° до 71° , разных V от $60-90$ м/сек и $\angle \delta = 45-60^\circ$, также дали частное решение, так как они были проведены только при одной высоте пропила $h = 30$ мм.

ВЫВОДЫ

1. «Инструкцию» 1956 г. необходимо срочно пересмотреть.
2. Следует дать обобщенные решения, вскрывающие взаимосвязь между основными факторами процесса продольной распиловки.
3. Необходимо показать, что частные случаи подчиняются общему закону резания.

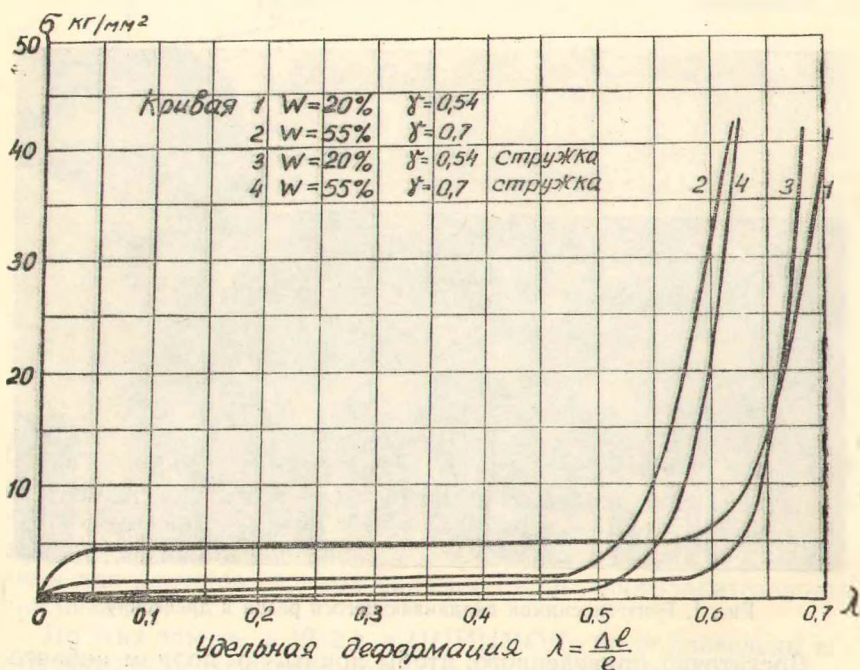


Рис. 2. Эпюра $\delta-\lambda$ при сжатии древесины в замкнутом пространстве по Е. Г. Ивановскому.

ОБЩИЙ ЗАКОН РЕЗАНИЯ

В 1958—1960 гг. были вскрыты общие закономерности для всех процессов резания древесины — общий закон резания.

Сущность его заключается в следующем:

при резании вклинившийся в древесину резец производит сжатие материала в полузамкнутом пространстве (рис. 1).

Сжатие в замкнутом и полузамкнутом пространстве древесины, как материала не обладающего сплошностью структуры, происходит при постоянном давлении σ кг/мм² и уменьшающемся объеме.

Эпюра изменения относительной деформации « λ » и соответствующего давления σ кг/мм² показана на рис. 2 (по опытам Е. Г. Ивановского, ЛТА и В. И. Микулинского, БЛТИ).

До $\lambda=0,6$, то есть до изменения объема в 2,5 раза, $\sigma = \text{Const}$. В это время объемный вес сосны $\gamma_1 = 0,56$ принимает значение $\gamma_2 = 1,4$, приближаясь к объемному весу дре-

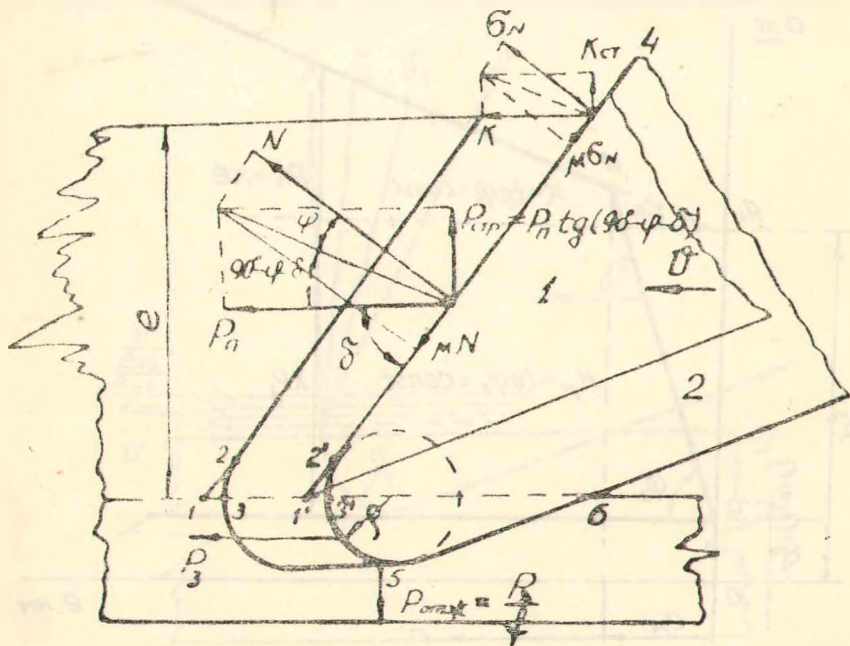


Рис. 3. Силы, действующие от реза на древесину.

весинного вещества $\gamma_3 = 1,56$, обладающего сплошностью структуры. Малейшее дальнейшее уменьшение объема происходит при значительном росте напряжения $\sigma \geq 50 \text{ кг/мм}^2$.

Однако при резании усадка стружки не достигает такого значения. При резании $\lambda \leq 0,45$, то есть процесс резания происходит в зоне $\sigma = \text{Const}$, что показывает, что сила резания по передней грани резца P_n (рис. 3) изменяется пропорционально толщине стружки e , т. е. $P_n = k \cdot e$, где k касательное давление резания при данных условиях резания ($\angle \delta$, V и др.).

Что касается касательной силы P_3 со стороны задней грани, то при данном радиусе затупления, ρ толщина слоя ниже линии раздела будет постоянной и, следовательно, $P_3 = \text{Const}$. Общая касательная сила резания $P = P_3 + P_n = P_3 + ke$ дает в системе координат (e, P) наклонную прямую АБ (рис. 4).

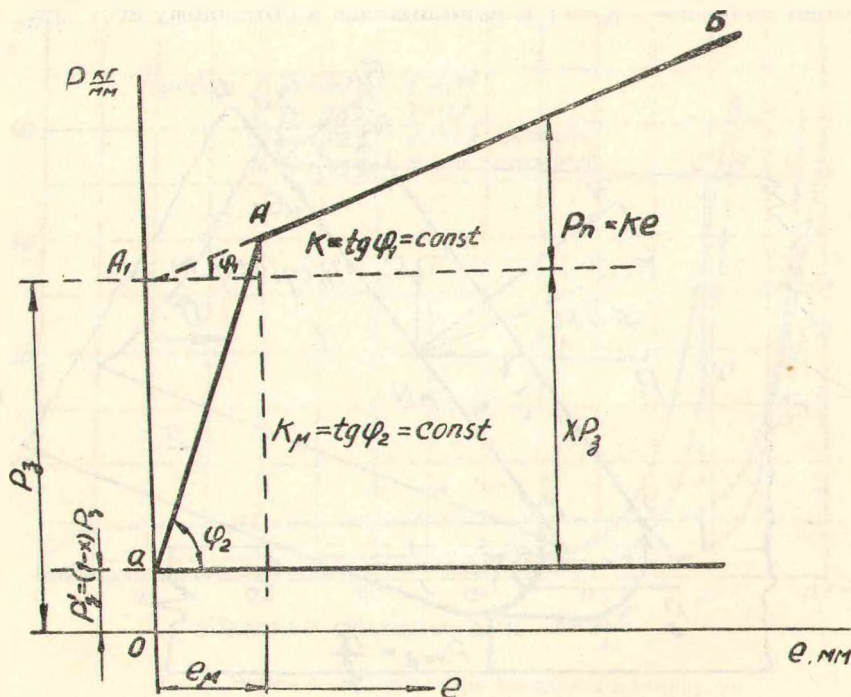


Рис. 4. Закон изменения касательных сил резания.

Продолжая ее до оси ординат ($e=0$), получаем начальную ординату p_3 и $p_n = k \cdot e = \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot e$, где $k = \operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{const}$.

Однако, продолжая АБ до $e=0$, мы приходим в область микростружек ($e_m < 0,1 \text{ мм}$) соизмеримых с радиусом затупления ρ . Здесь стружкообразование происходит при переменных углах резания δ (рис. 5) и закон прямой АБ нарушается — она получает перегиб спада по некоторой кривой Аа, которую, в первом приближении, принимаем за прямую Аа.

Такова закономерность изменения касательной силы резания P для всех процессов резания, как следствие общего закона резания.

В прошлом опыты производились при производственных толщинах стружек $e > 0,1 \text{ мм}$. В силу этого обработка результатов их по новой методологии общего закона резания давала прямую АБ (рис. 4) без перегиба Аа. Зона микростружек при $e_m < 0,1 \text{ мм}$, почти не охватывалась опытами. В то же время знание законов изменения силовых параметров в этой зоне имеет большое практическое значение для определения фактических

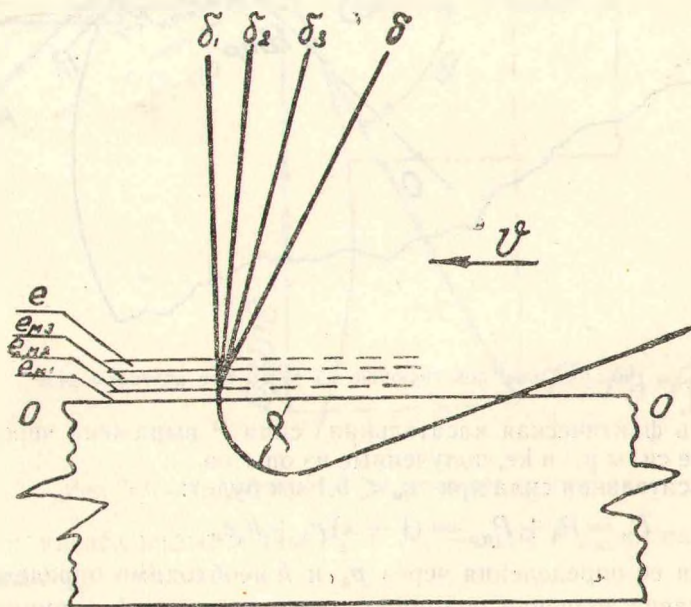


Рис. 5. Зона переменных углов δ при e_m

сил по передней (P_n) и задней (P_3) граням, так как p_3 и $p_n = k \cdot e$ фиктивные силы, где давления (k) также фиктивные.

Фактические же силы будут (рис. 4).

$$P_3 = (1-x)p_3 \dots \dots \dots (1) \quad P_3 = (1-x)p_3 \dots \dots \dots (1_1)$$

$$P_n = xp_3 + k \cdot e \dots \dots \dots (2) \quad P_{пм} = k_M e_M \dots \dots \dots (2_1)$$

$$k = \operatorname{tg} \varphi_1 \qquad k_M = \operatorname{tg} \varphi_2$$

Касательная сила при $e > 0,1$ мм будет:

$$P = P_3 + P_n = (1-x)p_3 + xp_3 + ke = p_3 + ke \dots \dots \dots (3)$$

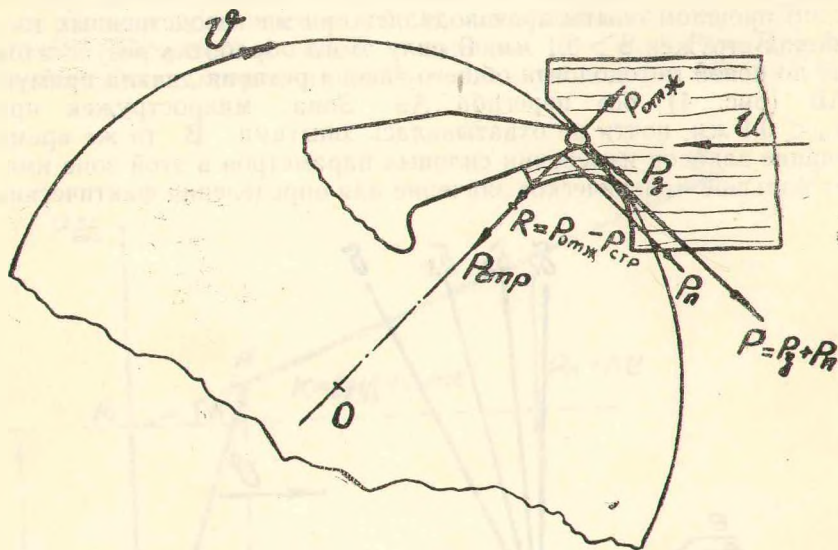


Рис. 6. Силы, действующие на резец при круговом резе.

то есть фактическая касательная сила P выражена через фиктивные силы p_3 и ke , полученные из опытов.

Касательная сила при $e_m < 0,1$ мм будет:

$$P_m = P_3 + P_{п.м} = (1-x)p_3 + k_M e_m \dots \dots \dots (4)$$

Для ее определения через p_3 и k необходимо определить k_M сопоставив значения ординаты точки перелома А, принадлежащей прямой аА, и одновременно прямой АБ, при $e = e_\mu = 0,1$ мм

для прямой аА — $P_{\mu} = (1 - x) p_3 + k_{\mu} \cdot 0,1$ (5)

для прямой АБ — $P_{\nu} = p_3 + k \cdot 0,1$ (6)

откуда, приравняв уравнения (5 и 6), получим

$$k_{\mu} = 10xp_3 + k \tag{7}$$

$$P_{\mu} = (1 - x) p_3 + (10xp_3 + k) e_{\nu} \tag{8}$$

Знание фактических сил по уравнениям (1), (1₁), (2) и (2₁) необходимо для определения сил (рис. 3 и 6), перпендикуляр-

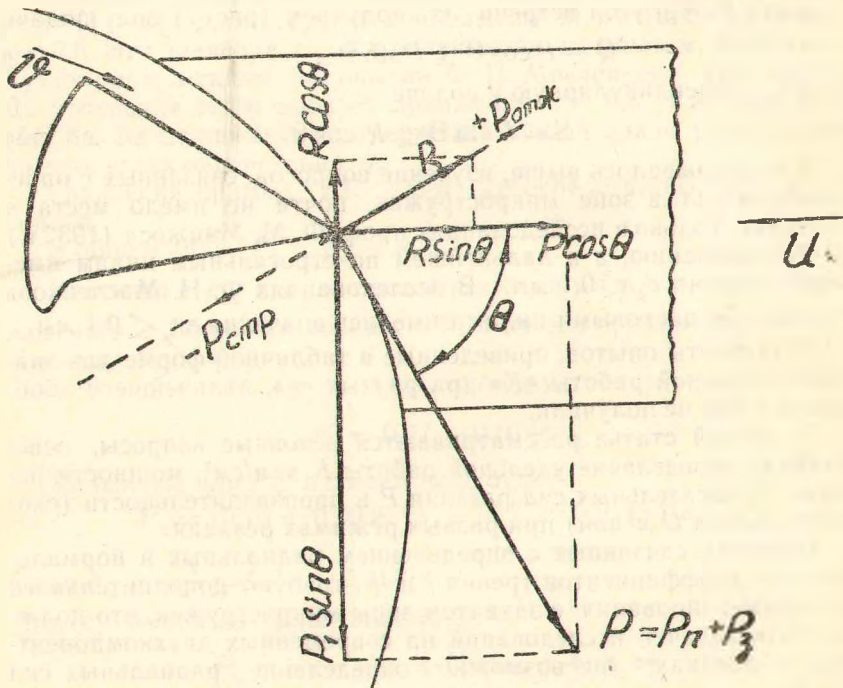


Рис. 7. Силы, действующие на резец при круговом резе.

ных к касательным силам P_3 и P_n — силы $P_{отж}$ отжима $\perp P_3$ и силы $P_{стр.} \perp P_n$

$$P_{отж.} = \frac{P_3}{f}, \tag{9}$$

где f — приведенный коэффициент трения, учитывающий также упруго-пластическое деформирование поверхностного слоя обработки.

$$P_{\text{стр.}} = P_n \operatorname{tg}(90 - \delta - \varphi) \geq 0 \quad (\text{рис. 3}) \dots \dots \quad (10)$$

где φ — угол трения, равный, примерно, 25° при коэффициенте трения $\mu = 0,45$. Алгебраическое суммирование $P_{\text{отж.}}$ и $P_{\text{стр.}}$ дает радиальную силу R .

$$R = P_{\text{отж.}} - P_{\text{стр.}} \geq 0 \dots \dots \quad (11)$$

Зная P , R и угол встречи Θ , получаем (рис. 7) силу подачи

$$Q = P \cos \Theta \pm R \sin \Theta \dots \dots \quad (12)$$

и силу, перпендикулярную к подаче

$$S = P \sin \Theta \pm R \cos \Theta \dots \dots \dots \quad (13)$$

Как указывалось выше, изучение вопросов, связанных с определением сил в зоне микростружек, почти не имело места в прошлом. Только в исследованиях проф. Ф. М. Манжоса (1932 г.) по фрезерованию, а в дальнейшем по строгальным пилам имелись значения $e_\mu < 0,1 \text{ мм}$. В исследованиях Ф. Н. Масленкова по пиленю дисковыми пилами имелись значения $e_\mu < 0,1 \text{ мм}$.

Результаты опытов, приведенные в табличной форме для значений удельной работы « K » при разных « e », дальнейшего обобщения у них не получили.

В данной статье рассматриваются основные вопросы, освещающие определение удельной работы $K \text{ кгм/см}^3$, мощности резания N , касательных сил резания P и производительности (скорость подачи $U \text{ м/мин}$) при разных режимах резания.

Вопросы, связанные с определением радиальных и нормальных сил, коэффициентов трения f и μ , требуют дополнительного экспериментирования с захватом зоны микростружек, что должно стать задачей исследований на современных двухкомпонентных установках, где возможно определение радиальных сил R и R_μ .

Ниже приводим примеры для иллюстрации методики расщепления результатов опытов, а также для подтверждения основных положений общего закона резания.

**ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ ОПЫТОВ ПО ФРЕЗЕРОВАНИЮ
И ПИЛЕНИЮ (ПО ДАННЫМ Ф. М. МАНЖОСА И Ф. Н. МАСЛЕНКОВА)**

Результаты опытов Ф. М. Манжоса (1932 и 1954 гг.) при фрезеровании сосны при $\angle \delta = 60^\circ$, $W = 10-15\%$ при $h \leq 6$ мм и острых резцах приведены в табл. 1.

Откладывая по оси абсцисс e (рис. 8а), а по оси ординат $P = ke$ получим для каждого $\angle \varphi$ прямые АБ и соответствующие p_3 .

Перелом прямых дают соответствующие $P_3 \approx 0,2 p_3$. Так как $P_3 = (1-x) p_3 = 0,2 p_3$, то x по опытам Ф. М. Манжоса будет: $x = 0,8$. Эти значения $x = 0,8$ получаются по опытам Кивимаа и Бухтиярова, а также по опытам Ф. Н. Масленкова (см. ниже). До уточнения этого вопроса принимаем $x = 0,8$. Как видно из рис. 8а, он полностью подтверждает общий закон резания при разных углах перерезания ψ .

Уравнения прямых АБ даны непосредственно на рис. 8а справа.

В общем виде $P_\psi = p_{3\psi} + k_\psi e$

Различие в $p_{3\psi}$ и k_ψ является результатом различия ψ . Отложив на рис. 8б по оси абсцисс ψ , а по оси ординат K_ψ и $p_{3\psi}$ получим:

$$p_{3\psi} = 0,16 + 0,0036\psi$$

$$K_\psi = 0,77 + 0,014\psi$$

Уравнение для P_ψ в общем виде будет

$$P_\psi = (0,16 + 0,0036\psi) + (0,77 + 0,014\psi) \cdot e,$$

а для $K_\psi = \frac{P_\psi}{e} = 0,77 + 0,014\psi + \frac{0,16 + 0,0036\psi}{e}$

Для e_μ имеем по уравнению (8).

$$P_\mu = (1-x)p_3 + (10xp_3 + k)e_\mu =$$

$$= (1-0,8)p_3 + (10 \cdot 0,8p_3 + k)e_\mu = 0,2p_3 + (8 \cdot p_3 + k)e_\mu$$

и $K_\mu = \frac{P_\mu}{e_\mu}$, после подстановки найденных значений для $p_{3\psi}$

и K_ψ получим значение K_μ (см. рис. 8а).

Полученные формулы дают ответ для K с точностью $\pm 8\%$.

Инж. В. И. Чуприн продолжил линии P_μ до перенесения их с

Значение K (числитель) и K_e (знаменатель)

e_{cp}	$\psi=0^\circ$	-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°
0,025	$\frac{3,7}{0,092}$	$\frac{4,3}{0,107}$	$\frac{5,4}{0,135}$	$\frac{6,5}{0,162}$	$\frac{7,7}{0,19}$	$\frac{8,8}{0,21}$	$\frac{9,7}{0,24}$
0,050	$\frac{3,3}{0,105}$	$\frac{3,9}{0,196}$	$\frac{5,0}{0,25}$	$\frac{5,7}{0,25}$	$\frac{6,5}{0,325}$	$\frac{7,3}{0,365}$	$\frac{7,9}{0,395}$
0,10	$\frac{2,5}{0,25}$	$\frac{3,3}{0,33}$	$\frac{4,1}{0,41}$	$\frac{4,6}{0,46}$	$\frac{5,1}{0,51}$	$\frac{5,5}{0,55}$	$\frac{6,0}{0,6}$
0,20	$\frac{1,7}{0,34}$	$\frac{2,2}{0,44}$	$\frac{2,8}{0,56}$	$\frac{3,3}{0,66}$	$\frac{3,7}{0,74}$	$\frac{4,1}{0,82}$	$\frac{4,4}{0,88}$
0,30	$\frac{1,3}{0,39}$	$\frac{1,7}{0,51}$	$\frac{2,2}{0,66}$	$\frac{2,7}{0,81}$	$\frac{3,0}{0,9}$	$\frac{3,3}{0,99}$	$\frac{3,6}{1,08}$
0,40	$\frac{1,15}{0,46}$	$\frac{1,45}{0,58}$	$\frac{1,9}{0,76}$	$\frac{2,4}{0,96}$	$\frac{2,7}{1,08}$	$\frac{3,0}{1,2}$	$\frac{3,2}{1,28}$
0,50	$\frac{1,05}{0,53}$	$\frac{1,4}{0,7}$	$\frac{1,7}{0,85}$	$\frac{2,1}{1,05}$	$\frac{2,4}{1,2}$	$\frac{2,6}{1,3}$	$\frac{3,0}{1,5}$
0,60	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{1,3}{0,78}$	$\frac{1,7}{1,02}$	$\frac{2,0}{1,2}$	$\frac{2,2}{1,32}$	$\frac{2,5}{1,5}$	$\frac{2,8}{1,68}$
0,70	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,3}{0,92}$	$\frac{1,6}{1,14}$	$\frac{2,0}{1,14}$	$\frac{2,2}{1,5}$	$\frac{2,45}{1,7}$	$\frac{2,7}{1,88}$

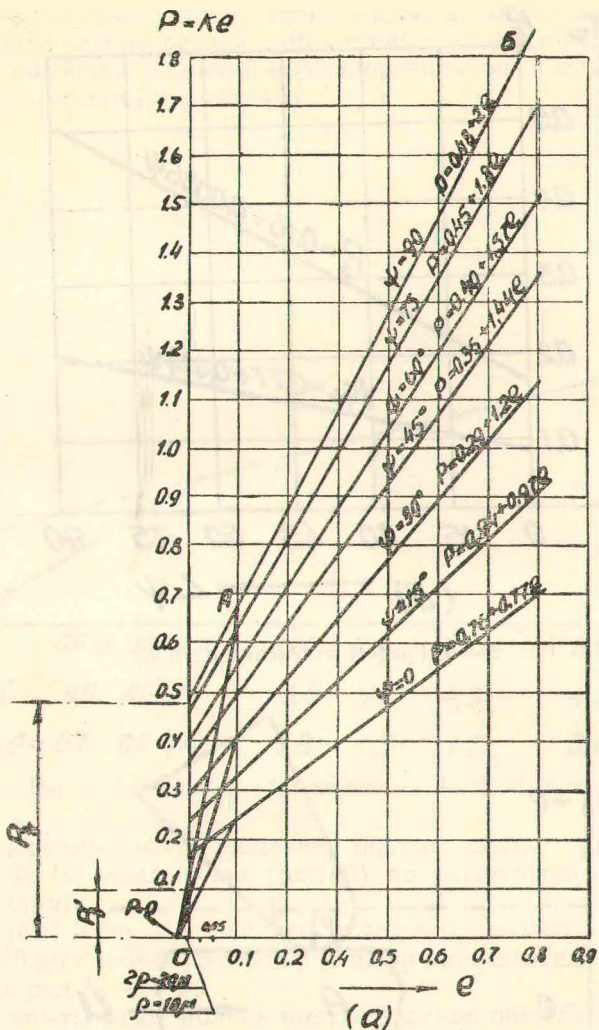
осью абсцисс влево от 0. При этом получаем значение $P_\mu = 0$, то есть $P_\mu = P_3 + K_\mu e_\mu = 0$ и следовательно

$$e_\mu = -\frac{P_3}{K_\mu} = -\frac{P_3}{\operatorname{tg} \varphi_2} = -\rho \quad (\text{рис. 8в})$$

$$\text{т. е. } \rho = \frac{0,2P_{3\psi}}{K_{\mu\psi}} = \frac{0,2P_{3\psi}}{8P_{3\psi} + K_\psi} = \frac{0,2}{\frac{8 + K_\psi}{P_{3\psi}}} = 8 + \frac{0,2}{0,16 + 0,0036\psi}$$

Например при $\psi = 0$ $\rho \cong 16\mu$
 $\psi = 90^\circ$ $\rho \cong 16\mu$

Инженер В. И. Чуприн дает вариант решения, полагая спад не по прямой Аа, а по параболической кривой. При этом $e_\mu = \rho$ получается равным половине 00, (рис. 8а) то есть $\rho = \frac{16}{2} = 8\mu$, что близко отвечает условиям опытов Ф. М. Манжоса.



$$P = [0.77 + 0.0036\psi] + [0.77 + 0.014\psi]e$$

$$\kappa = \frac{P}{e} = \frac{0.77 + 0.0036\psi}{e} + 0.77 + 0.014\psi$$

$$\kappa_{\text{н}} = (2\bar{\rho} + \kappa) + \frac{0.2B}{e_{\text{н}}} = (2 + 0.044\psi) + \frac{0.002 - 0.00056\psi}{e_{\text{н}}}$$

Рис. 8—а. Силы P при разных углах перерезания

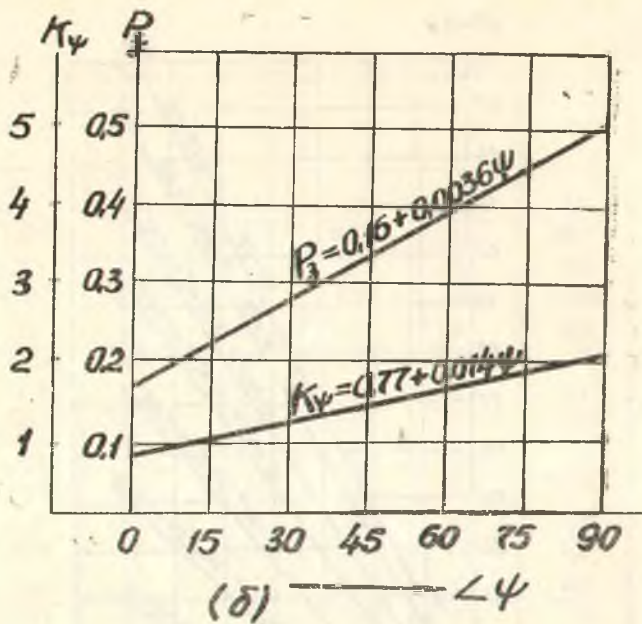


Рис. 8 — б. График изменения $p_{зр}$ и K_{ψ} .

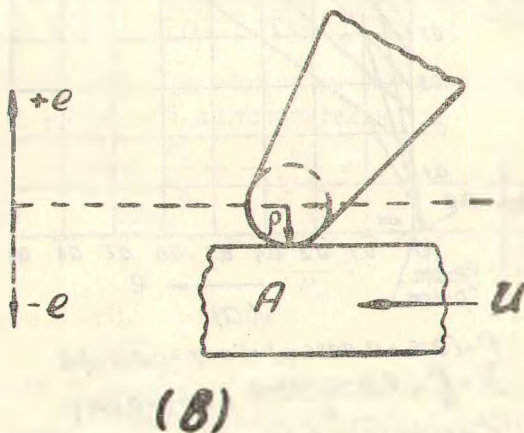


Рис. 8 — в. Положение заготовки A при $P_x = 0$.

Таким образом, опыты, проведенные за много лет до вскрытия общего закона резания, объективно его подтвердили, указав пути дальнейших вскрытий и установления связи между затуплением и силовыми параметрами.

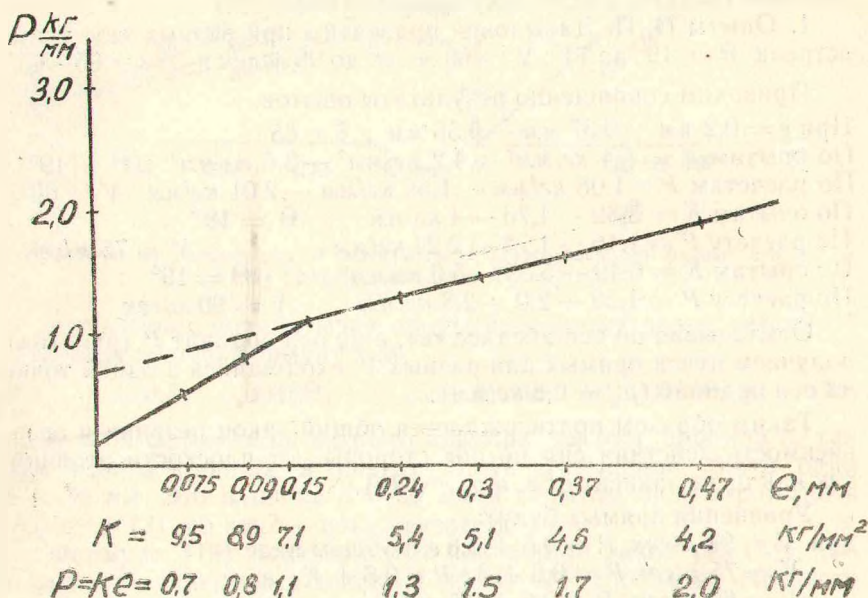


Рис. 9. Значение $P_3 f(e)$ по опытам Ф. Н. Масленкова.

Аналогичное подтверждение общего закона резания дают опыты Ф. Н. Масленкова (рис. 9) по распиловке сосны дисковыми пилами.

На рис. 9 по оси абсцисс отложены толщины стружек от $e = 0,075$ до $e = 0,47$. Второй ряд цифр дает опытные значения K , а третий ряд $P = K \cdot e$.

Эти опыты дают полное подтверждение общего закона резания, устанавливая значение $x \approx 0,8$.

Примечание: при затуплении учет коэффициента принимается при p_3 . При $e > 0,1 \text{ мм}$ $p_{3p} = a_p p_3$, а при $e_\mu < 0,1 \text{ мм}$ $p_{3p} = (a_p - 0,8) p_3$

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ ПО ПРОДОЛЬНОЙ РАСПИЛОВКЕ ДИСКОВЫМИ ПИЛАМИ

Для иллюстрации, ввиду краткости статьи, остановимся на наиболее широко и совершенно проведенных опытах Н. И. Давыдовой (БЛТИ) и Н. К. Якунина (ЦНИИМОД).

1. Опыты Н. И. Давыдовой проведены при разных « e », углах встречи $\Theta = 19^\circ$ до 71° ; $V = 60$ м/сек до 90 м/сек и $\angle \delta = 65-45^\circ$.

Приводим сокращенно результаты опытов.

При $e = 0,2$ мм — $0,37$ мм — $0,56$ мм $\angle \delta = 65^\circ$
 По опытам $K = 5,4$ кг/мм² — $4,2$ кг/мм² — $3,6$ кг/мм² $\Theta = 19^\circ$
 По расчетам $P = 1,08$ кг/мм — $1,55$ кг/мм — $2,01$ кг/мм $V = 60$ м
 По опытам $K = 5,82$ — $4,76$ — 4 кг/мм $\Theta = 19^\circ$
 По расчету $P = 1,16$ — $1,74$ — $2,24$ кг/мм $V = 75$ м/сек
 По опытам $K = 6,49$ — $5,35$ — $5,0$ кг/мм² $\Theta = 19^\circ$
 По расчету $P = 1,29$ — $2,0$ — $2,8$ кг/мм $V = 90$ м/сек

Откладывая по оси абсцисс « e », а по оси ординат P (рис. 10а) получаем пучек прямых для разных V , сходящийся в одной точке на оси ординат ($p_3 = 0,6$ кг/мм).

Таким образом подтверждается общий закон резания и независимость действия сил по обе стороны от плоскости резания, так как p_3 не зависит от e , а $p_n = f(e)$.

Уравнения прямых будут:

при $V = 90$ м/сек $P = 0,6 + 3,8e$ в общем виде
 $V = 75$ м/сек $P = 0,6 + 3e$ $P = 0,6 + K_v e$
 $V = 60$ м/сек $P = 0,6 + 2,5e$.

Различие в K_v объясняется различием в V м/сек. Откладывая по оси абсцисс V , а по оси ординат полученные значения K_v (рис. 10б) найдем $K_v = 0,042 V$. Тогда для $\angle \psi = 19^\circ$, получим $P_{19} = 0,6 + 0,042 V \cdot e$ (14)

Аналогично получаем для $\psi = 45^\circ$ $P_{45} = 0,7 + 0,046 V \cdot e$. . . (15)

и для $\psi = 65^\circ$ $P_{65} = 0,8 + 0,048 V \cdot e$. . . (16)

или в общем виде $P_\psi = p_{3\psi} + \alpha_\psi V \cdot e$ (17)

Различия в формулах (14, 15, 16) в $p_{3\psi}$ и α_ψ являются результатом влияния $\angle \psi$.

Откладывая по оси абсцисс $\Theta = \psi$, а по оси ординат $p_{3\psi}$ и α_ψ (рис. 11), найдем $p_{3\psi} = 0,5 + 0,0046 \Theta$:

$\alpha_\psi = 0,038 + 0,00015 \Theta$ и тогда при $\angle \delta = 65^\circ$.

$$P_0 = (0,5 + 0,0046 \Theta) + (0,038 + 0,00015) \Theta \dots (18)$$

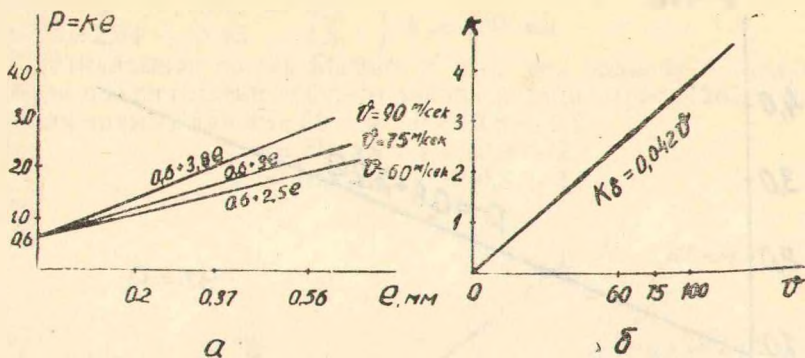


Рис. 10. а) График сил по опытам Н. И. Давыдовой при разных e и v .
б) График изменения $K_v = f(v)$.

Аналогично обрабатывая опыты при других углах резания δ получаем общую формулу для

$$P_{0, \delta, v, e} = (0,5 + 0,0046\theta) + (0,02 + 0,003\delta + 0,00015\theta)e \dots (19)$$

В этой формуле не вскрыто влияние высоты пропила h , так как высота пропила в опытах Н. И. Давыдовой, была одна $h = 30$ мм. Это влияние $h = 30$ мм в скрытом виде отражено в формуле (7), но как? — пока неизвестно.

Формула (19) подтверждает как общий закон резания, так и закон независимости действия сил по обе стороны от плоскости резания, так как v, e влияют на K (во втором слагаемом формулы 19) и не влияют на P (первое слагаемое формулы 19).

Опыты Н. К. Якунина при разных h , но при $\angle \delta = 60^\circ$ $\theta = 61^\circ = \text{Const}$

Приводим таблицу опытных данных при $h = 20$ мм, $e = 0,34 - 0,65 - 1,04 - 1,3$ мм.

По опытам $K = 5,05 - 3,9 - 3,1 - 2,9$

По расчету $P = 1,72 - 2,54 - 3,22 - 3,77$

$V = 20$ м/сек

$K = 5,0 - 3,58 - 3,0 - 2,82$

$P = 1,7 - 2,32 - 3,12 - 3,67$

$V = 30$ м/сек

$K = 4,64 - 3,53 - 3,02 - 2,76$

$P = 1,48 - 2,29 - 3,14 - 3,59$

$V = 40$ м/сек

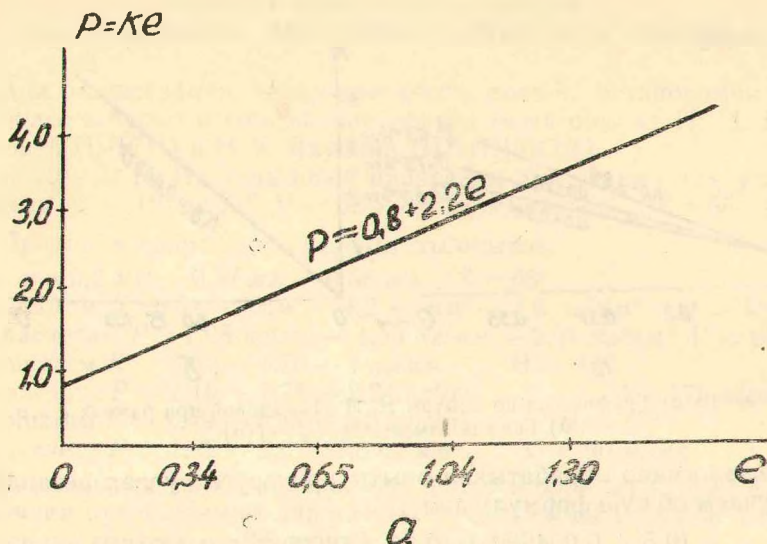


Рис. 12а. Значения p и e в системе координат (e, p) .

$$K = 4,65 - 3,41 - 2,88 - 2,66$$

$$P = 1,58 - 2,22 - 3,0 - 3,46$$

$$V = 50 \text{ м/сек}$$

$$K = 4,61 - 3,54 - 3,08 - 2,82$$

$$P = 1,57 - 2,3 - 3,2 - 3,67$$

$$V = 60 \text{ м/сек}$$

$$K = 4,74 - 3,61 - 3,16 - 2,94$$

$$P = 1,61 - 2,35 - 3,29 - 3,82$$

$$V = 70 \text{ м/сек}$$

Откладывая по оси абсцисс « e », а по оси ординат P (рис. 12а, например, для $V = 50 \text{ м/сек}$), получим ряд прямых, причем все они почти сливаются, что говорит о незначительном влиянии V в диапазоне $V = 20 - 70 \text{ м/сек}$. Усредненное общее уравнение для P в этом диапазоне скоростей будет: $P = 0,8 + 2,2e$. (20)

$$\text{и } K = \frac{P}{e} = 2,2 + \frac{0,8}{e} \dots \dots \dots (21)$$

Уравнения (20, 21) справедливы при $h = 20$ и $\Theta = 61^\circ$.

Обработаем дополнительно опыты при $h = 50 - 100 \text{ мм}$

$e = 0,34 - 0,65 - 1,04 \text{ мм}$	}	$h = 50$
$K_{\text{оп}} = 5,0 - 3,85 - 3,5$		
$P_{\text{расч.}} = 1,7 - 2,5 - 3,5$		

$$\left. \begin{array}{l} K = 6 \quad - \quad 5,0 \quad - \quad 4,5 \\ P = 2,04 \quad - \quad 3,25 \quad - \quad 4,5 \end{array} \right\} h = 100 \text{ мм}$$

Откладывая по оси абсцисс e , а по оси ординат P , получим новое подтверждение общего закона резания (рис. 126) и уравнения прямых для $h = 20 \text{ мм}$ $P = 0,8 + 2,2$
 $\gg = 50 \text{ мм}$ $\gg = 0,8 + 2,7$
 $\gg = 100 \text{ мм}$ $\gg = 0,8 + 3,7$

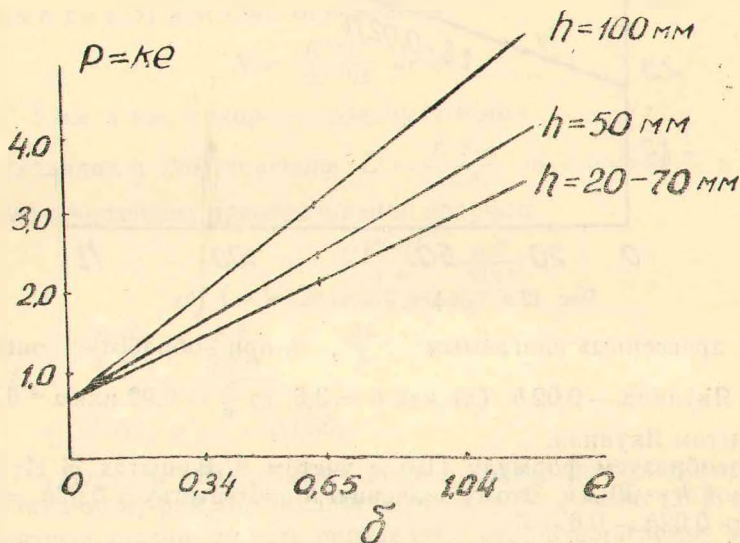


Рис. 126. График изменения $p = f(h, e)$.

Различие в K_n получается за счет разных значений h . Откладывая по оси абсцисс h , а по оси ординат K_n (рис. 12в), получим $K_n = 1,8 + 0,02 h$ и $P = 0,8 + (1,8 + 0,02 h) e$ и удельное давление $K = 1,8 + 0,02 h + \frac{0,8}{e}$. (22)

При $h = 20$ по формуле (22) получим

$$K = 1,8 + 0,02 \cdot 20 + \frac{0,8}{e} = 2,2 + \frac{0,8}{e},$$

то есть полное соответствие с результатом формулы (21).

В формуле (21) влияние h не вскрыто, а в формуле (22) значение h вскрыто слагаемым $0,02 h$. Это слагаемое характеризует трение стружки о стенки пропила, что отражается в работе «Ре-

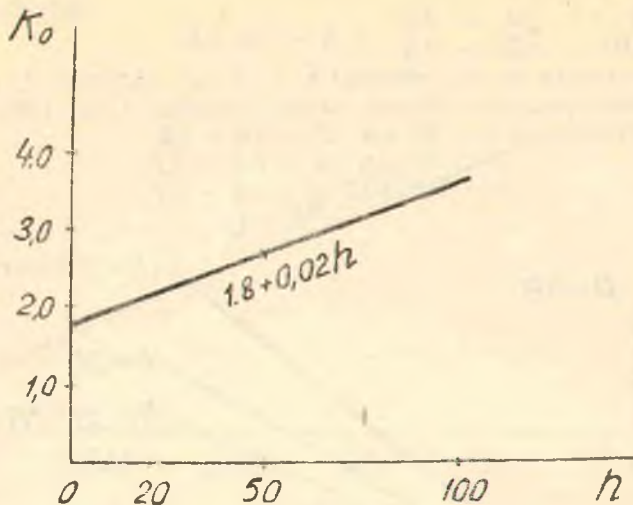


Рис. 12 в. График изменения $K = f(h)$.

зание древесины» слагаемым $\frac{ah}{b}$, а при обработке опытов Н. К. Якунина — $0,02h$. Так как $b = 3,6$, то $\frac{a}{b} = 0,02$ или $a = 0,072$ по опытам Якунина.

Преобразуем формулу (19) с учетом h . В опытах Н. И. Давыдовой $h = 30$ мм. Этому значению h соответствует $0,02h = 0,6$, то есть $0,02h - 0,6 = 0$.

В формуле (19) добавляем $0,02h - 0,6 = 0$ и получаем общую формулу для продольной распиловки хвойных пород древесины.

При обычных производственных $V = 20-70$ м/сек.

$$K = [(0,4 + 0,015\delta + 0,0075\Theta)] + \frac{0,07h}{b} + \frac{(0,5 + 0,0046 \cdot \Theta)}{e} \dots \quad (23)$$

При $V > 70$ м/сек

$$K_1 = K + [(0,02 + 0,0003\delta + 0,00015\Theta)(V - 70)] \dots \quad (24)$$

В формулах (23 и 24) $\frac{0,07h}{b}$ — удельная работа гнения стружки о стенки пропила; $(0,5 + 0,0046\Theta) = p_3$ кг/мм, а в квадратной скобке — значение k по передней грани. Второе слагаемое формулы (24) также относится к передней грани. Так в общем виде для пиления

$$K = k + \frac{0,07h}{b} + \frac{p_3}{e} \dots \quad (25)$$

где $e_\lambda = \frac{b}{S} C \cdot \sin \theta$, $e_\lambda = C \sin \theta$

λ — символ развода зубьев;

Δ — символ плющения зубьев;

b — ширина пропила;

S — толщина пилы;

C — подача на резец $\left(C = \frac{1000U}{Z \cdot n} \right)$.

Зная K по (23) или (24), определяем

$$N = \frac{KbhU}{60 \cdot 10^2} \text{ кВт}, \dots \dots \quad (26)$$

где b мм, h мм, а скорость подачи U м/мин.

Подставляя в (26) значение $U = \frac{C \cdot z \cdot n}{1000}$ и значение K из (25), после простейших преобразований получим

$$C_\lambda = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot N - \frac{P_3 S}{\sin \theta}}{h \cdot b + \alpha_\lambda h}, \quad (27)$$

$$\text{а } C_\Delta = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot N - \frac{P_3 b}{\sin \theta}}{kb + \alpha_\Delta h}, \dots \dots \quad (28)$$

где $\alpha_\lambda = 0,07$, а $\alpha_\Delta = 0,056$.

По формуле (26) решают прямые задачи, то есть определяют по заданному режиму мощность резания $N_{\text{квт}}$, а по (27), (28) — обратные задачи, то есть определяют по располагаемой мощности производительность (скорость подачи $U = \frac{C \cdot Z \cdot n}{1000}$ м/сек)

ПРИМЕРЫ

1. Сопоставимы ли частные решения М. Каюковой, Н. Якушина, Н. Давыдовой:

а) проверяем по формуле (23) данные М. Каюковой $h = 84$ мм; $\theta = 64,5$; $\sin \theta = 0,9$; $e_\lambda = 0,378$ мм.

$$K = (0,4 + 0,15 \cdot 60 + 0,0075 \cdot 64,5) + 0,02 \cdot 84 + \frac{0,5 + 0,0046 \cdot 64,5}{0,378} = 1,78 + 1,68 + 2,1 = 5,56.$$

$h = 66$ мм; $\theta = 66,5$; $\sin \theta = 0,917$; $e_\lambda = 0,385$ мм.

по формуле 23 $K = 5,25$.

$h = 56$ мм; $\Theta = 67,5$; $\sin \Theta = 0,92$; $e_\lambda = 0,386$ мм.

по формуле 23 $K = 5$.

Таким образом частные решения М. Каюковой ($K = 5,5$) находятся в соответствии с общим законом резания. С увеличением h мм при неподъемном столе $K \approx \text{Const}$ (колебания до 10%).

2. Проверяем ряд опытов Н. К. Якунина.

$V < 70$ м/сек; $h = 20$ и 120 мм; $\Theta = 60^\circ$; $\delta = 60^\circ$.

По формуле (23) получаем:

$$K = (0,4 + 0,015 \cdot 60 + 0,0075 \cdot 60) + 0,02 + \frac{0,5 + 0,0046 \cdot 60}{e_\lambda} =$$

$$= 1,75 + 0,02h + \frac{0,776}{e_\lambda}$$

$h = 20$

$h = 120$

в числителе K по расчету, а в знаменателе по опытам.

$e_\lambda = 0,65$ $K = 3,35/3,41$ $K = 5,35/6,35$

$e_\lambda = 1,0$ $K = 2,93/2,88$ $K = 4,93/4,5$

Итак, ответы близки к опытным данным и показывают рост в 1,6—1,7 раза при увеличении h в шесть раз. Следовательно, расчет отражает подчинение частного случая Н. Якунина общему закону резания.

Частные случаи сопоставим; если опыты надежно проведены и известны законы резания.

3. Проверим опыты Н. К. Якунина при $V > 70$ м/сек, $V = 100$ м/сек и $V = 120$ м/сек.

По формуле (24) получим

$$K = 1,75 + 0,02h + \frac{0,776}{e} + 0,047 (V - 70)$$

Таблица № 2

$h_{\text{мм}}$	$v = 100$ м/сек			$v = 120$ м/сек		
	e_λ			e_λ		
	0,34	0,65	1,0	0,34	0,65	1,0
20	$K = \frac{5,81}{5,4}$	$\frac{4,77}{4,5}$	$\frac{4}{4,04}$	$\frac{6,75}{6,0}$	$\frac{5,71}{5,35}$	$\frac{5,27}{5,0}$
100	$K = \frac{7,81}{8,42}$	$\frac{6,77}{7,0}$	$\frac{6,33}{6,35}$	$\frac{8,75}{9,5}$	$\frac{7,71}{8,4}$	$\frac{7,27}{7,75}$

В числителе — расчетные величины, а в знаменателе — опытные. Расхождение не превышает 10%.

Таков путь анализа и метод расчета удельной работы K , зная которую, определяем по формуле (26) значение полезной мощности.

4. Пример решения обратной задачи.

Дано $N = 8 \text{ квт}$ $h = 50 \text{ мм}$ $Z = 60$

$D = 500 \text{ мм}$ $S = 2 \text{ мм}$ $b = 3 \text{ мм}$ $\alpha_\lambda = 0,07$

$\angle \delta = 60^\circ$ подъем стола над центром $a = 100 \text{ мм}$

$n = 2000 \text{ об/мин}$, $V = 50 \text{ м/сек}$, зубья разведенные.

Определить скорость подачи $U \text{ м/мин}$.

Скорость подачи определяется по формуле (27), где надо знать Θ , p_3 и k

Определяем эти величины.

Для определения Θ и $\sin \Theta$ пользуемся номограммой. (Справочник по расчету режимов резания древесины. 1962, рис. 22).

Масштаб для пользования ею $M = \frac{100}{D} = \frac{100}{500} = \frac{1}{5}$.

На вертикальной шкале справа откладываем $M \left(a + \frac{h}{2} \right) =$

$$= \frac{1}{5} \left(100 + \frac{50}{2} \right) = 25 \text{ мм}$$

По горизонтали находим $\angle \Theta = 60$, а по нормали $\sin \Theta = 0,87$.

По формуле (23) находим $\angle \delta = 60$ м; $\Theta = 60$.

$k = (0,4 + 0,015\delta + 0,0075\Theta) = 1,75$.

и $p_3 = 0,5 + 0,0046 \cdot \Theta \approx 0,78$, после чего определяем по формуле (27):

$$C_\lambda = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 8}{50 \cdot 60 \cdot 2000} - \frac{0,78 \cdot 2}{1,75 \cdot 3 + 0,07 \cdot 50} = 0,70 \text{ мм}$$

и $U = \frac{C \cdot Zn}{1000} = 0,7 \cdot 60 \cdot 2 = 84 \text{ м/мин}$

При плющенных зубьях и $Z = 48$ по формуле (28):

$$C_\lambda = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 8}{50 \cdot 48 \cdot 2000} - \frac{0,78 \cdot 3}{1,75 \cdot 3 + 0,056 \cdot 50} = 0,92$$

и $U = \frac{0,92 \cdot 48 \cdot 2000}{1000} = 89 \text{ м/мин}$,

то есть при плющенных зубьях и соответствующем уменьшении числа зубьев ($Z_\lambda \approx 0,8Z$) производительность растет на 5—7% и чистота пропилы улучшается.

Имея вышеприведенные формулы, можно широко вести анализы факторов, определяющих режимы пиления.

Аналогично обобщаются и решаются вопросы расчета режимов других процессов резания древесины.

В статье затронуты лишь касательные силы и давления (P, K, p_z, p_n) при толщинах стружек $e \geq 0,1$ мм. Однако нельзя забывать о нормальных силах и явлениях при толщине стружек $e_\mu < 0,1$ мм. Эти вопросы рассматриваться будут в последующих статьях.