

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

К УТОЧНЕНИЮ И УПРОЩЕНИЮ
РАСЧЕТА ПОСЫЛОК

А. Л. БЕРШАДСКИЙ

Профессор

(Белорусский лесотехнический институт)

Новое понимание процесса пиления рамными пилами явилось результатом экспериментальных и теоретических работ проф. Н. С. Войтинского (1930), кафедр механической технологии древесины АЛТИ (1932—1940) и БЛТИ (1944—1955) под моим руководством, канд. техн. наук М. Н. Орлова (ЦНИИМОД, 1934—1950), проф. А. Э. Грубе и канд. техн. наук Е. Г. Ивановского (ЛТА, 1932—1950).

Этими работами было отвергнуто представление предшественников о свободном насыпании опилок во впадину между зубьями и о заполнении междузубного пространства разрыхленной массой стружки с коэффициентом разрыхления $\sigma = 5$.

Значение σ выражалось формулой

$$\sigma = \frac{f}{C \cdot h} > 1, \quad (1)$$

где f — боковая поверхность впадины междузубного пространства,

C — подача на зуб,

h — высота пропила.

При наблюдении процесса заполнения впадины методами рентгеноскопии (АЛТИ), искусственной замены одной стенки пропила стеклом (ЦНИИМОД, АЛТИ, БЛТИ), вскрытия пропила (ЛТА) было установлено, что в процессе пиления во впадину зуба проникает стружка, уплотненная в 2—2,5 раза.

Отделяемая по высоте пропила стружка не заполняет всю впадину между зубьями. Трением о стенки пропила стружка все время отжимается в направлении, обратном движению резания, к передней грани зуба и дальше, к ранее отделенным стружкам, заполняющим впадину. Наши наблюдения показали, что граница заполнения впадины близка к нормали передней грани у лезвия (рис. 1). Мы не развиваем в данной статье подробно этот вопрос. Он изложен в нашем труде «Резание древесины» (Гослесбумиздат, 1956).

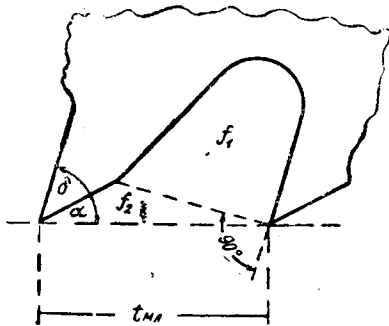


Рис. 1.

Если f_1 — боковая поверхность заполняемой части впадины, а f_2 — боковая поверхность незаполняемой части, то вся боковая поверхность впадины

$$f = f_1 + f_2. \quad (2)$$

В результате опытов установлено, что коэффициент уплотнения стружки

$$\alpha_{\text{упл}} \approx 0,4 - 0,5. \quad (3)$$

Отсюда соотношение между объемом заполняемой части междузубного пространства и объемом срезаемой древесины будет следующее:

$$\alpha_{\text{упл}} \cdot b \cdot C \cdot h = f_1 \cdot b, \quad (4)$$

где b — ширина пропила в мм; $b \cdot C \cdot h$ — номинальный объем срезаемой древесины, приходящийся на 1 зуб в мм³; $f_1 \cdot b$ — объем впадины в мм³.

Определяем f_1 по рис. 1:

$$f_1 = f - f_2 = \Theta \cdot t^2 - \frac{\text{tg} \alpha}{2(1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \delta)} t^2, \quad (5)$$

где: Θ — характеристический коэффициент боковой поверхности впадины. Для плющенных зубьев $\Theta \approx 0,4$.

$$\alpha = 30^\circ \text{ — задний угол реза,}$$

$$\delta = 75^\circ \text{ — угол резания.}$$

Сопоставляя уравнения (4) и (5), получаем расчетное значение шага t_0 для плющенных зубьев, исходя из условий работоспособности пилы:

$$t_0 = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{упл}} \cdot C \cdot h}{\Theta - \frac{\text{tg} \alpha}{2(1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \delta)}}}. \quad (6)$$

Определяем допустимый коэффициент заполнения впадины

$$\beta_{\text{зап}} = \frac{f_1}{f} = \frac{\Theta - \frac{\text{tg} \alpha}{2(1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \delta)}}{\Theta}. \quad (7)$$

При заданных числовых значениях

$$\beta_{\text{зап}} = \frac{0,4 - 0,09}{0,4} \approx 0,8. \quad (8)$$

Таким образом, предложенный нами расчет шага t_0 исходит из максимального заполнения впадины $\beta_{\text{зап}} \approx 0,8$. Такое максимальное заполнение фактически наблюдалось в опытах М. Н. Орлова и наших.

Установим факторы, влияющие на качество пропила. Качество пропила определяется величиной подачи на зуб C , жесткостью пил в работе и коэффициентом заполнения впадины.

Подача на зуб C по достижению величины 1,2—1,4 мм при разведенных зубьях и 1,8—2,0 мм при плющенных зубьях приводит к вырывам по пласти досок и глубоким рискам. Недостаточная жесткость пил вызывает блуждание их и нарушение размерной точности досок. При нормальном производственном натяжении пил 2,5—3,5 т блуждание пил с плющеными зубьями имеет место, если подача на зуб более 1,8 мм.

Однако, если даже держать подачу на зуб при плюсовых зубьях меньше чем $C = 1,8$ мм, качество пропила ухудшится при значительном заполнении впадины.

Это положение было доказано опытами канд. техн. наук В. П. Поко- тило в 1939 году (АЛТИ). Ею было установлено, что при одной и той же подаче на зуб вырывы и риски у стенок пропила увеличиваются при уменьшении $\sigma = \frac{f}{C \cdot h}$, определенного для разных точек высоты пропила.

Это положение физически вполне объяснимо: чем ниже к дну пропила приближается запрессованная масса стружек, тем с большими трудностями, с большим напряжением будут отделяться последующие стружки, ухудшая качество пропила.

Канд. техн. наук М. Н. Орлов экспериментально установил три груп- ны качества при распиловке разведенными зубьями:

Группы качества	Качество распила	Подача на зуб C в мм
1	Высокое	0,8
2	Хорошее	1,0
3	Удовлетво- рительное	1,2

Кроме того, на основании многочисленных, тщательно поставленных опытов им была установлена следующая эмпирическая зависимость:

$$\sigma \cdot C = 0,75, \quad (9)$$

где σ , по определению М. Н. Орлова, коэффициент, характеризующий напряженность работы впадины:

$$\sigma = \frac{\alpha_{\text{упл}}}{\beta_{\text{зап}}}. \quad (10)$$

Значение σ может быть и больше и меньше единицы.

Из совместного рассмотрения уравнений (9) и (10) при разных зна- чениях C , в зависимости от группы качества, получаем разные значения $\beta_{\text{зап}}$ при одном и том же $\alpha_{\text{упл}} = 0,5$.

$$\begin{aligned} \text{1-я группа: } \sigma &= \frac{0,75}{0,8} \approx 0,94 & \beta_{\text{зап}} &= \frac{\alpha_{\text{упл}}}{\sigma} = \frac{0,5}{0,94} \approx 0,54 \\ \text{2-я группа: } \sigma &= \frac{0,75}{1,0} \approx 0,75 & \beta_{\text{зап}} &= \frac{0,5}{0,75} \approx 0,67 \\ \text{3-я группа } \sigma &= \frac{0,75}{1,2} \approx 0,625 & \beta_{\text{зап}} &= \frac{0,5}{0,625} \approx 0,8. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, М. Н. Орлов экспериментально установил степень за- полнения впадины в зависимости от группы качества при распиловке. Возвращаясь к нашим выводам (7) и (8), усматриваем, что, учитывая работу М. Н. Орлова, их можно принять только для 3-й группы качества.

При переходе к наиболее практически распространенной 2-й группе качества надо внести коррективный коэффициент ζ к заполняемой части впадины f_1 :

$$\zeta = \frac{\text{Допустимый коэффициент заполнения впадины по Орлову}}{\text{Допустимый коэффициент заполнения впадины по формуле (8)}} = \frac{0,67}{0,8} \approx 0,84.$$

Тогда формула (6) примет вид:

$$t_0 = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{упл}} C \cdot h}{\zeta \left[\Theta - \frac{\text{tg} \alpha}{2(1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \beta)} \right]}}; \quad (12)$$

При принятых числовых значениях

$$t_0 = \sqrt{\frac{0,5 \cdot C \cdot h}{(0,4 - 0,09) 0,84}} \approx \sqrt{2Ch}. \quad (13)$$

Возведя обе части равенства в квадрат, получим:

$$C = \frac{t_0^2}{2 \cdot h}. \quad (14)$$

Отсюда значение посылки Δ_0 по работоспособности пил принимает следующий простой вид:

$$\Delta_0 = \frac{H}{t} C = \frac{H \cdot t}{2h}. \quad (15)$$

Для развала бруса h — высота бруса, а для развала пиловочника

$$h = d_b + 30, \quad (16)$$

где d_b — вершинный диаметр бревна в мм.

Полученная формула (15) очень проста и позволяет для конкретных производственных условий легко определить посылку по работоспособности пил Δ_0 . При этом, однако, необходимо учесть, что должен быть выдержан качественный норматив подачи на зуб, то есть должно иметь место неравенство:

$$\frac{\Delta_0 \cdot t}{H} \leq 1,8 \text{ мм}. \quad (17)$$

Посылка Δ_0 , определенная по работоспособности пил, должна быть также сопоставлена с посылкой Δ_N , установленной по мощности привода — $N_{\text{пр квт}}$.

Все данные для расчета Δ_N и метод расчета изложены в нашем труде «Резание древесины».

Основой расчета является определение удельной работы $K \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{см}^3}$, которая для распиловки сосны находится по следующей формуле:

$$K = \frac{5,2}{C^{0,33}} + \frac{0,02 \cdot h}{b}. \quad (18)$$

Достоверность этого выражения для K доказана многолетними опытами на архангельских предприятиях (АЛТИ) и на предприятиях Белоруссии (БЛТИ) при диаметрах $d_b = 120-300$ мм. Пробные распиловки в Сибири (ЦНИИМОД) с точностью до сотых долей процента подтвердили справедливость формулы (18) при $d_b = 300-600$ мм.

Таким образом, рекомендуемое нами обобщение значений удельной работы (18) охватывает всю практическую амплитуду диаметров от 100 до 600 мм.

Наряду с опубликованием метода определения Δ_N , есть необходимость упростить расчет до табличной формы, чтобы открыть ему широкий доступ для производственного использования. Для этого, прежде всего, служит таблица значений удельной работы K при разных значениях подачи C и высоты пропила h (табл. 1).

Значения удельной работы $K \frac{кг-м}{см^3}$ в зависимости от подачи на зуб и высоты пропила

$\frac{h \text{ в м.м.}}{С \text{ в м.м.}}$	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0,1	11,64	11,75	11,86	11,97	12,07	12,18	12,29	12,40	12,51	12,61	12,72	12,83	12,94	13,05	13,16	13,26
0,2	9,34	9,45	9,56	9,67	9,77	9,88	9,99	10,10	10,21	10,31	10,42	10,53	10,64	10,75	10,85	10,96
0,3	8,34	8,45	8,56	8,67	8,77	8,88	8,99	9,10	9,21	9,31	9,42	9,53	9,64	9,75	9,85	9,96
0,4	7,54	7,65	7,76	7,87	7,97	8,08	8,19	8,30	8,41	8,51	8,62	8,73	8,84	8,95	9,05	9,16
0,5	7,14	7,25	7,36	7,47	7,57	7,68	7,79	7,90	8,01	8,11	8,22	8,33	8,44	8,55	8,65	8,76
0,6	6,74	6,85	6,96	7,07	7,17	7,28	7,39	7,50	7,61	7,71	7,82	7,93	8,04	8,15	8,25	8,36
0,7	6,34	6,45	6,56	6,67	6,77	6,88	6,99	7,10	7,21	7,31	7,42	7,53	7,64	7,75	7,85	7,96
0,8	6,14	6,25	6,36	6,47	6,58	6,68	6,79	6,90	7,01	7,11	7,22	7,33	7,44	7,55	7,65	7,76
0,9	5,94	6,05	6,16	6,27	6,37	6,48	6,59	6,70	6,81	6,91	7,02	7,13	7,24	7,35	7,45	7,56
1,0	5,74	5,85	5,96	6,07	6,18	6,28	6,39	6,50	6,61	6,71	6,82	6,93	7,04	7,15	7,25	7,36
1,1	5,54	5,65	5,76	5,87	5,97	6,08	6,19	6,3	6,41	6,51	6,62	6,73	6,84	6,95	7,05	7,16
1,2	5,34	5,45	5,56	5,67	5,77	5,88	5,99	6,1	6,21	6,31	6,42	6,53	6,64	6,75	6,85	6,96
1,3	5,24	5,35	5,46	5,57	5,67	5,78	5,89	6,0	6,11	6,21	6,32	6,43	6,54	6,65	6,75	6,86
1,4	5,14	5,25	5,36	5,47	5,57	5,68	5,79	5,9	6,01	6,11	6,22	6,33	6,44	6,55	6,65	6,76
1,5	5,04	5,15	5,26	5,37	5,47	5,58	5,69	5,8	5,91	6,01	6,12	6,23	6,34	6,45	6,55	6,66
1,6	4,94	5,05	5,16	5,27	5,37	5,48	5,59	5,7	5,81	5,91	6,02	6,13	6,24	6,35	6,45	6,56
1,7	4,84	4,95	5,06	5,17	5,27	5,38	5,49	5,6	5,71	5,81	5,92	6,03	6,14	6,25	6,35	6,46
1,8	4,74	4,85	4,96	5,07	5,17	5,28	5,39	5,5	5,61	5,71	5,82	5,93	6,04	6,15	6,26	6,37

Мощностные характеристики (а)

$\frac{h_{в.м.м}}{С_{в.м.м}}$	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
0,1	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,37	1,38	1,39
0,2	1,87	1,89	1,91	1,93	1,95	1,98	2,00	2,02	2,04	2,06	2,08	2,11	2,13	2,15	2,18	2,19	2,22	2,24	2,26	2,28	2,30
0,3	2,51	2,54	2,57	2,60	2,63	2,66	2,70	2,73	2,76	2,79	2,83	2,86	2,89	2,93	2,96	2,99	3,03	3,07	3,11	3,14	3,18
0,4	3,02	3,06	3,10	3,15	3,19	3,23	3,28	3,32	3,36	3,40	3,45	3,49	3,54	3,58	3,62	3,66	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92
0,5	3,57	3,63	3,68	3,74	3,79	3,84	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,17	4,22	4,28	4,33	4,38	4,45	4,51	4,58	4,64	4,71
0,6	4,04	4,11	4,18	4,24	4,30	4,37	4,43	4,50	4,57	4,63	4,69	4,76	4,81	4,89	4,95	5,02	5,09	5,17	5,25	5,33	5,40
0,7	4,44	4,52	4,59	4,67	4,74	4,82	4,89	4,97	5,05	5,12	5,19	5,28	5,35	5,43	5,50	5,57	5,66	5,75	5,82	5,94	6,03
0,8	4,91	5,00	5,09	5,18	5,26	5,33	5,43	5,52	5,61	5,69	5,78	5,86	5,95	6,04	6,12	6,21	6,31	6,42	6,52	6,63	6,73
0,9	5,35	5,45	5,54	5,64	5,73	5,83	5,92	6,03	6,13	6,22	6,32	6,42	6,52	6,62	6,71	6,80	6,92	7,04	7,16	7,27	7,39
1,0	5,74	5,85	5,96	6,07	6,18	6,28	6,39	6,50	6,61	6,71	6,82	6,93	7,04	7,15	7,25	7,36	7,49	7,62	7,75	7,88	8,00
1,1	6,09	6,22	6,34	6,46	6,57	6,69	6,81	6,93	7,05	7,16	7,28	7,40	7,52	7,65	7,76	7,88	8,02	8,16	8,31	8,45	8,59
1,2	6,31	6,54	6,67	6,80	6,92	7,06	7,19	7,32	7,45	7,57	7,70	7,84	7,97	8,10	8,22	8,35	8,51	8,66	8,82	8,98	9,12
1,3	6,81	6,96	7,0	7,24	7,37	7,51	7,66	7,80	7,94	8,07	8,22	8,38	8,50	8,65	8,78	8,92	9,10	9,26	9,43	9,59	9,75
1,4	7,20	7,65	7,50	7,65	7,80	7,95	8,11	8,26	8,41	8,55	8,71	8,86	9,02	9,17	9,31	9,46	9,65	9,83	10,01	10,19	10,37
1,5	7,56	7,72	7,89	8,06	8,21	8,37	8,54	8,70	8,86	9,02	9,18	9,34	9,51	9,68	9,83	10,10	10,19	10,38	10,58	10,77	10,97
1,6	7,90	8,08	8,26	8,43	8,59	8,77	8,94	9,12	9,30	9,46	9,63	9,81	9,98	10,16	10,32	10,50	10,70	10,91	11,13	11,33	11,51
1,7	8,23	8,42	8,60	8,79	8,96	9,15	9,33	9,52	9,71	9,88	10,06	10,25	10,44	10,63	10,80	10,98	11,20	11,42	11,65	11,87	12,07
1,8	8,53	8,73	8,93	9,13	9,31	9,50	9,70	9,90	10,10	10,28	10,48	10,67	10,87	11,07	11,27	11,47	11,70	11,93	12,07	12,40	12,61

Потребная мощность при заданных условиях распиловки находится так:

$$N_{\text{пр}} = \frac{K \cdot b \cdot Z \cdot h_{\text{ср}} \cdot \Delta_N \cdot n}{6 \cdot 10^6 \cdot 0,75}, \quad (19)$$

где 0,75 — коэффициент полезного действия лесорамы, Z — число пил. Поскольку условия распиловки заданы, то известны и Δ , и t и $h_{\text{ср}} = 0,75(d_{\text{в}} + 30)$. Следовательно, известна и подача на зуб $C = \frac{\Delta \cdot t}{H}$.

Зная C , находим по таблице при заданном h значение K и определяем $N_{\text{пр}}$ по формуле (19).

Сложнее решение обратной задачи, то есть определение Δ_N по заданной мощности $N_{\text{пр}}$

$$\Delta_N = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 0,75 \cdot N_{\text{пр}}}{K \cdot b \cdot h_{\text{ср}} \cdot Z \cdot n}. \quad (20)$$

В формуле (20) Δ неизвестно, а следовательно, неизвестно и C , а так как $K = f(C, h)$, то по табл. 1 найти K нельзя.

Для простоты решения этого вопроса заменяем Δ через ее значение

$$\Delta = \frac{H}{t} \cdot C. \quad (21)$$

После подстановки (21) в (20) и простейших преобразований, получаем:

$$K \cdot C = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 0,75 \cdot N_{\text{пр}} \cdot t}{b \cdot h_{\text{ср}} \cdot Z \cdot n \cdot H}. \quad (22)$$

Для данного предприятия все величины, стоящие в правой части формулы, известны. Для данной лесорамы

$$\frac{6 \cdot 10^6 \cdot 0,75 \cdot N_{\text{пр}}}{b \cdot h \cdot H} = A = \text{Const}. \quad (23)$$

Следовательно, обозначая $KC = a$, получаем

$$a = A \frac{t}{h_{\text{ср}} \cdot Z}. \quad (24)$$

Усматриваем, что при данном шаге t , применяемом при распиловке бруса или пиловочника, при известных $h_{\text{ср}}$ и Z определяется и $a = KC$. Значения a находим в табл. 2. Они получены из табл. 1 построчным умножением K на C .

Определив $a = KC$ по формуле (24), берем в вертикальном столбце табл. 2 при соответствующем h для бруса и $h = 0,75(d_{\text{в}} + 30)$ для развала пиловочника, ближайшее значение $a = KC$ и по горизонтальной строке находим C , а затем определяем $\Delta_N = \frac{H}{t} \cdot C$.

Меньшая из посылок Δ_0 и Δ_N будет нормативной.

Если значение $K \cdot C = a$ для данной высоты h больше значений, приведенных в таблице, то это значит, что подача на зуб больше 1,8 мм и с точки зрения качества обработки использовать $N_{\text{пр}}$ нельзя. Надо работать при значениях $C \leq 1,8$ мм.

Табличная форма расчета делает метод определения посылок доступным широким кругам производителей.

В дальнейшем будут предложены расчетные данные для распиловки дуба и других пород древесины, так как применение коррективных коэффициентов, с физической точки зрения, неправильно.