

**И.Т. Глебов, В.В. Глебов**  
 УГЛТУ, Екатеринбург, РФ  
 GIT5@yandex.ru

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ КРУГЛОПИЛЬНОГО РАСКРЯЖЕВОЧНОГО СТАНКА (CALCULATION OF POWER OF THE ROUND-SAW LOG CUTTER)

*Изложена методика определения пути продвижения пилы при делении кряжа на чураки, средней дуги контакта пилы с древесиной кряжа, удельной работы резания и мощности пиления. Показано решение задачи на примере.*

*There is expounded a methodology of determination of the way of saws shoving in blocks dividing by blanks, middle arc of saws contact with a blocks wood, specific slicing work and sawing power. A solution of the task is shown in example.*

Раскряжевочные станки предназначены для раскряга фанерных кряжей по длине на чураки. Кряжи диаметром 16...60 см распиливаются в поперечном направлении пилами диаметром до 1250; 1500 мм и толщиной 5,0...5,5 мм. Зубья пил разводятся с уширением на сторону до 1,5...2,0 мм, так что ширина пропила достигает 8 мм, а иногда до 12 мм. Мощность электродвигателей механизмов главного движения современных раскряжевочных станков составляет 30...40 кВт. При этом в технической литературе нет четких рекомендаций по расчету мощности подобных станков.

Для поперечного раскряга кряжей на чураки используют станки с механизмом продвижения маятникового типа, балансирные, суппортные.

На рис. 1, а приведена расчетная схема пути продвижения пилы в направлении подачи для раскряжевочного станка маятникового типа. На схеме показан роликовый конвейер 1, на котором перемещается и базируется при поперечной распиловке кряж 2. Маятник 4 с круглой пилой 5 шарнирно закреплен на верхней стойке 3 и может совершать от отдельного привода качательное движение относительно кряжа. Пила показана в положении врезания в древесину и выхода из кряжа.

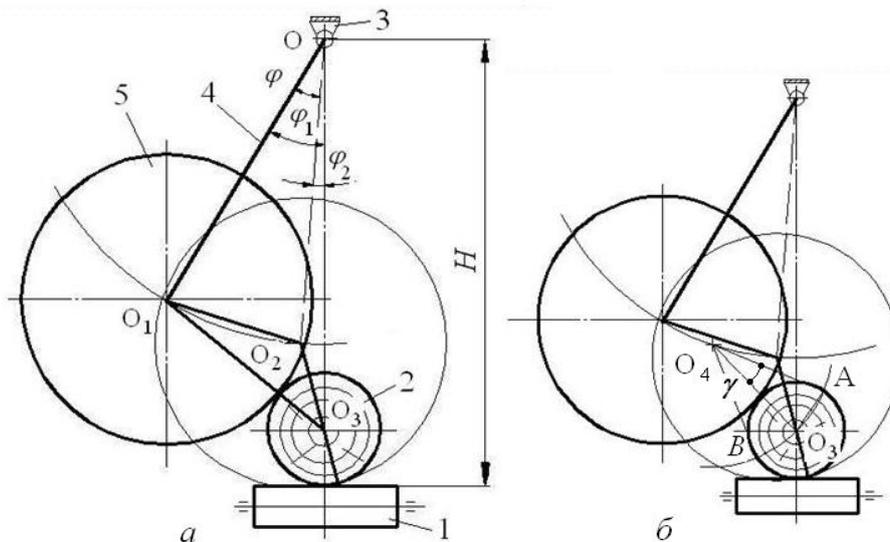


Рис. 1. Расчетная схема деления кряжа на чураки:

а – к расчету пути продвижения пилы на кряж; б – к расчету дуги контакта пилы с древесиной; 1 – конвейер; 2 – кряж; 3 – стойка маятника; 4 – маятник; 5 – пила

Верхняя стойка расположена над роликовым конвейером на высоте  $H$ , мм:

$$H = L + 0,5D - 10, \quad (1)$$

где  $L$  – длина маятника  $OO_1$ , мм;

$D$  – диаметр пильного диска, мм.

**Путь надвигания** пилы равен отрезку дуги  $l = O_1O_2$  между центрами пилы в крайних положениях. Для ее нахождения отметим:

– расстояние  $O_1O_3 = R + r$ , где  $R$  – радиус пилы, мм;  $r$  – радиус кряжа, мм;

– расстояние  $O_2O_3 = R - r$ ;

– расстояние  $OO_3 = H - r$ .

Угол

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (2)$$

Используя теорему косинусов [1], получим значение углов, рад.:

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{L^2 + (H - r)^2 - (R + r)^2}{2L(H - r)}\right); \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{L^2 + (H - r)^2 - (R - r)^2}{2L(H - r)}\right). \quad (4)$$

Тогда путь надвигания пилы равен, мм:

$$l = L\varphi. \quad (5)$$

Из полученных формул следует, что величина пути надвигания пилы зависит от нескольких факторов: длины маятника, высоты расположения стойки маятника, радиусов пилы и распиливаемого кряжа. Только при оптимальном выборе указанных параметров можно сократить путь надвигания и уменьшить мощность механизма главного движения станка.

**Длина дуги контакта**  $l_k$  зубьев пилы с древесиной кряжа изменяется от нуля в момент врезания пилы в кряж до максимального значения  $AB$  (рис. 1, б), когда дуга окружности пилы проходит через центр  $O_3$  поперечного сечения кряжа. В расчетах удобно пользоваться средним значением дуги контакта, которое равно половине дуги  $AB$  и равно длине дуги  $O_3A$ .

Из треугольника  $O_3O_4A$  получим

$$r^2 = R^2 + R^2 - 2R^2 \cos \gamma.$$

Отсюда угол контакта, рад.:

$$\gamma = \arccos \frac{2R^2 - r^2}{2R^2}.$$

Тогда средняя длина дуги контакта

$$l_{k\text{ ср}} = R\gamma.$$

**Расчет мощности** механизма главного движения начинают с определения удельной силы резания  $F_{уд}$ , МПа, количественно равной значению удельной работы резания  $K$ , Дж/см<sup>3</sup>. Для поперечного пиления острыми круглыми пилами свежесрубленной древесины сосны значение удельной работы резания можно принять по табл. 1, 2.

Таблица 1

Значения удельной работы резания по данным Гороховского К.Ф. [1]

Ширина пропи- ла $b$ , мм	Значения $K$ , Дж/ см <sup>3</sup> , при подаче на зуб $S_z$ , мм						
	0,02	0,04	0,05	0,08	0,1	0,15	0,2
3,5	100	86	77	72	67	61	55
5,0	83	68	61	54	50	42	39
8,0	-	43	38	33	30	26	24

Таблица 2

Значения удельной работы резания по данным Шелгунова Ю. В. [2]

Ширина пропи- ла $b$ , мм	Значения $K$ , Дж/ см <sup>3</sup> , при подаче на зуб $S_z$ , мм			
	0,1	0,2	0,3	0,4
5,0	34,3	26,5	23,5	22,6
8,0	29,4	22,6	20,6	19,6
12	25,5	19,6	17,6	16,6

По данным А.Л. Бершадского, после обработки экспериментальных результатов А.А Смирнова, для расчета удельной работы резания при поперечном пилении древесины сосны влажностью 15...20% и угле боковой заточки 65° предложено уравнение, Дж/ см<sup>3</sup>:

$$K = \frac{7,7}{S_z^{0,15} b^{0,5}} \quad (6)$$

Наконец, значение удельной силы резания по обработанным данным ЦНИИ-МОД можно найти по формуле

$$F_{y0} = a_n a_w \left( k + \frac{\alpha_\rho p}{S_z} \right), \quad (7)$$

где  $k$  – касательное давление древесины на переднюю грань зуба, МПа;

$p$  – фиктивная сила резания, Н/мм;

$\alpha_\rho$  – коэффициент затупления зуба;

$a_n, a_w$  – поправочные коэффициенты на породу и влажность соответственно.

Значения  $p$  и  $k$  при поперечном пилении древесины сосны приведены ниже [3]:

–  $p = 1$  Н/мм;

– значение  $k$ , МПа:

$$k = 60,76 - 13,72b + (0,41 - 0,0059\gamma)\beta_1, \quad (8)$$

где  $b$  – ширина пропила, мм; при поперечном пилении толщина срезаемого слоя  $a = b$ ;

$\gamma$  – передний угол, град;

$\beta_1$  – угол заточки боковой кромки (угол заострения измеряется в теле зуба).

Коэффициент затупления [4]

$$\alpha_\rho = 1 + \left( 1 + 0,1 \frac{k}{p} \right) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}, \quad (9)$$

где  $\Delta_\rho$  – величина затупления зубьев пилы, мкм;

$\rho_o$  – величина радиуса закругления боковых режущих кромок зубьев восстановленных (острых), мкм;  $\rho_o = 10$  мкм.

Из приведенных табл. 1 и 2 и формул (6), (7), (8) следует, что с увеличением подачи на зуб пилы и ширины пропила значение удельной работы резания убывает.

Проведем сопоставительный анализ значений удельной работы резания, принимаемой по выше предложенным способам. Для этого выполним расчет значений удельной работы резания (или примем табличное значение) для ширины пропила  $b=8,0$  мм, передний угол зуба  $\gamma = 0^\circ$ , угол боковой заточки зубьев  $\beta_1 = 65^\circ$  и полученные данные сведем в табл. 3.

Таблица 3

Значения удельной работы резания, полученные для сопоставительного анализа при  $b=8,0$  мм, пилы острые

Источник данных	Значения $K$ , Дж/см <sup>3</sup> , при подаче на зуб $S_z$ , мм						
	0,02	0,04	0,05	0,08	0,1	0,15	0,2
По табл. 1	-	43	38	33	30	26	24
По табл. 2	-	-	-	-	29,4	-	22,6
$K = \frac{7,7}{S_z^{0,15} b^{0,5}}$	4,9	4,41	4,27	3,98	3,85	3,62	3,47
$F_{y\partial} = a_n a_w (k + \frac{\alpha_p P}{S_z})$	Формула справедлива при $b \leq 5,5$ мм; при больших значениях $b$ величина $k$ получается отрицательная по знаку						

Данные табл. 3 позволяют сделать вывод, что значение удельной работы резания для расчета мощности при поперечной распиловке фанерных кряжей следует брать по табл. 1 или 2.

Поскольку данные таблиц заметно отличаются, рекомендуется принимать средние расчетные значения удельной работы резания. Для этого табличные значения выражены графически (рис. 2), по ним построена средняя расчетная кривая, описанная математически с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 \approx 0,99$ :

$$\begin{aligned}
 - b = 5 \text{ мм} \quad K &= \frac{20,836}{S_z^{0,2898}}; \\
 - b = 8 \text{ мм} \quad K &= \frac{13,315}{S_z^{0,3574}}; \\
 - b = 12 \text{ мм} \quad K &= \frac{12,18}{S_z^{0,3137}}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Для определения величины коэффициента затупления по формуле (9) найдем значение  $k$ . Из выражения (7) для острой пилы получим для древесины сосны

$$k = K - \frac{P}{S_z}. \tag{11}$$

Для расчета мощности поперечного пиления предложены степенные формулы Грубе А.Э., Санева В.И., Ивановского Е.Г., эмпирические формулы А.Л. Бершадского, формулы, использующие табличные значения удельной силы резания, однако все они непригодны для решения данной задачи, так как составлены для условий, отличающихся от условий раскряжевки кряжей.

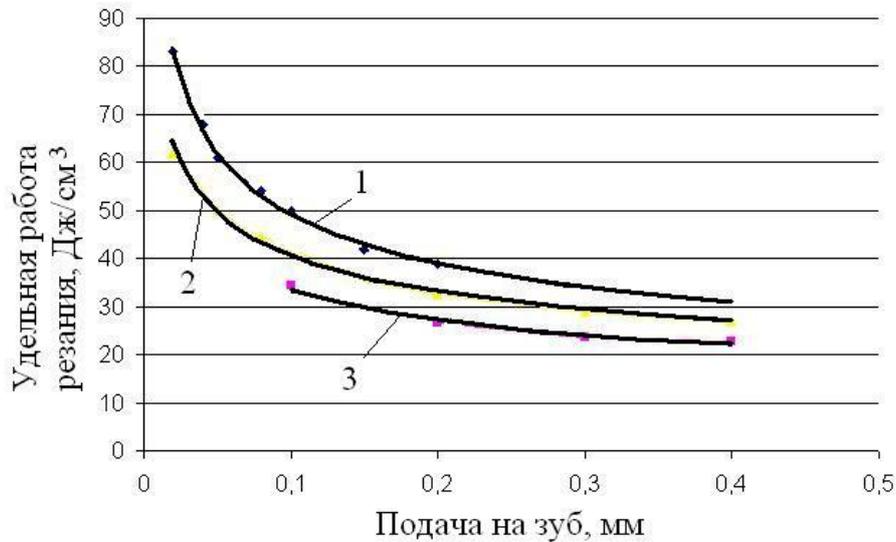


Рис. 2. График зависимости удельной работы резания при поперечном пилении от подачи на зуб при  $b = 5$  мм:  
 1 – по данным Гороховского К.Ф.; 2 – среднее расчетное значение;  
 3 – по данным Шелгунова Ю.В.

Мощность поперечного распиливания кряжа может быть найдена по объемной формуле, кВт:

$$P = \frac{Kv_1}{1000}, \quad (12)$$

где  $v_1$  – секундный объем образуемого пропила в кряже,  $\text{см}^3/\text{с}$ .

Объем пропила,  $\text{см}^3$ :

$$v_n = \frac{\pi d_q^2}{4} b, \quad (13)$$

где  $d_q$  – диаметр чурака, см;

$b$  – ширина пропила, см.

Цикл времени выполнения одного пропила, с:

$$t_u = \frac{0,06l}{V_s}, \quad (14)$$

где  $V_s$  – скорость подачи (скорость надвигания пилы на кряж), м/мин.

Секундный объем срезаемой древесины,  $\text{см}^3/\text{с}$ :

$$v_1 = \frac{v_n}{t_u}. \quad (13)$$

**Пример.** Дано: на круглопильном станке распиливаются березовые кряжи на чураки. Диаметр пилы  $D = 1500$  мм, толщина ее диска  $S = 5,5$  мм, количество зубьев  $z = 72$  шт., уширение разведенных зубьев на сторону  $S' = 1,5$  мм, частота вращения пильного вала  $700 \text{ мин}^{-1}$ . Диаметр отпиливаемых чураков  $d_q = 52$  см, скорость подачи  $V_s = 20$  м/мин.

Определить мощность механизма главного движения и силы резания.

Решение. 1. Находим значение ширины пропила

$$b = S + 2S' = 5,5 + 2 \cdot 1,5 = 8,5 \text{ мм.}$$

2. Скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 1500 \cdot 700}{60000} = 55 \text{ м/с.}$$

3. Находим объем пропила по формуле:

$$v_n = \frac{\pi d_u^2}{4} b = \frac{3,14 \cdot 52^2}{4} \cdot 0,85 = 1804,2 \text{ см}^3.$$

4. Параметры раскрывочной установки:

– длина маятника  $L = 1500$  мм;

– высота расположения верхней стойки маятника над конвейером

$$H = L + 0,5D - 10 = 1500 + 0,5 \cdot 1500 - 10 = 2240 \text{ мм.}$$

5. Угол поворота маятника при контакте зубьев пилы с древесиной кряжа:

– угол поворота маятника в момент врезания пилы в кряж

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \arccos\left(\frac{L^2 + (H - r)^2 - (R + r)^2}{2L(H - r)}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{1500^2 + (2240 - 260)^2 - (750 + 260)^2}{2 \cdot 1500 \cdot (2240 - 260)}\right) = 0,5131 \text{ рад.;} \end{aligned}$$

– угол поворота маятника в момент выхода пилы из кряжа

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \arccos\left(\frac{L^2 + (H - r)^2 - (R - r)^2}{2L(H - r)}\right) = \\ &= \arccos\left(\frac{1500^2 + (2240 - 260)^2 - (750 - 260)^2}{2 \cdot 1500 \cdot (2240 - 260)}\right) = 0,2467 \text{ рад.;} \end{aligned}$$

– угол поворота маятника при пилении

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0,5131 - 0,2467 = 0,2664 \text{ рад.}$$

6. Путь надвигания пилы

$$l = L\varphi = 1500 \cdot 0,2664 = 400 \text{ мм.}$$

7. Найдем время формирования пропила

$$t_u = \frac{0,06l}{V_s} = \frac{0,06 \cdot 400}{20} = 1,2 \text{ с.}$$

8. Определим секундный объем срезаемой стружки по формуле

$$v_1 = \frac{v_n}{t_u} = \frac{1804,2}{1,2} = 1503,5 \text{ см}^3/\text{с.}$$

9. Находим значение подачи на зуб

$$S_z = \frac{1000V_s}{zn} S_z = \frac{1000 \cdot 20}{72 \cdot 700} = 0,397 \text{ мм.}$$

10. Находим касательное давление древесины сосны на переднюю грань острого зуба (принимая значение  $K$  для ширины пропила  $b = 8$  мм; значение  $p = 1$  Н/мм):

$$k = K - \frac{p}{S_z} = \frac{13,315}{S_z^{0,3574}} - \frac{1}{S_z} = 16,0 \text{ МПа.}$$

11. Определим средний угол контакта пилы с кряжом, рад.:

$$\gamma = \arccos \frac{2R^2 - r^2}{2R^2} = \arccos \frac{2 \cdot 750^2 - 260^2}{2 \cdot 750^2} = 0,348 \text{ рад.}$$

12. Средняя длина дуги контакта пилы с кряжом

$$l_{к\text{ ср}} = R\gamma = 750 \cdot 0,348 = 261,3 \text{ мм.}$$

13. Находим величину затупления зубьев пилы

$$\Delta_\rho = \frac{\gamma_\Delta l_{к\text{ ср}} n}{1000} TK_n K_u = \frac{0,001 \cdot 261,3 \cdot 700}{1000} \cdot 180 \cdot 0,55 \cdot 0,8 = 14,5 \text{ мкм.}$$

14. Коэффициент затупления при начальном радиусе  $\rho_o = 10$  мкм:

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{16,0}{1,0}) \frac{14,5}{10 + 50} = 1,63.$$

15. Находим значение удельной работы резания для древесины березы при пи- лении затупленными зубьями пилы

$$K_\sigma = a_n (k + \frac{\alpha_\rho p}{S_z}) = 1,25 \cdot (16,0 + \frac{1,63 \cdot 1}{0,397}) = 24,13 \text{ Дж/см}^3.$$

16. Находим мощность электродвигателя механизма главного движения при КПД передачи  $\eta = 0,92$ :

$$P = \frac{K_\sigma v_1}{1000\eta} = \frac{24,13 \cdot 1503,5}{1000 \cdot 0,92} = 41,0 \text{ кВт.}$$

При скорости подачи  $V_s = 3,6$  м/мин  $P = 16,0$  кВт.

17. Средние силы резания:

$$\text{– касательная } F_x = \frac{1000 P \eta}{V} = \frac{1000 \cdot 41,0 \cdot 0,92}{55} = 686 \text{ Н;}$$

$$\text{– радиальная } F_z = (0,2 \dots 2,7) F_x = 686 \text{ Н.}$$

#### Библиографический список

1. Гороховский К.Ф., Лифшиц Н.В. Основы технологических расчетов оборудова- ния лесосечных и лесоскладских работ: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 256 с.
2. Шелгунов Ю.В., Кутуков Г.М., Ильин Г.П. Машины и оборудование лесозаго- товок, лесосплава и лесного хозяйства: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 520 с.
3. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины. Минск: Высшейш. школа, 1975. 304 с.
4. Глебов, И.Т. Резание древесины: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 256 с.