

УДК 674.053 : 621.934

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПИЛЕНИЯ НА КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

В. В. ШОСТАК

Львовский лесотехнический институт

Режимы пиления круглыми пилами, разработанные ЦНИИМОДом [1], не учитывают износ режущего инструмента. Износ зубьев круглых пил исследован проф. С. М. Тимоненом [2, 3]. После обработки по методу наименьших квадратов данных, представленных в этих работах, получена эмпирическая зависимость

$$F = \frac{5,45 \cdot 10^{-5} S_z^{0,48} L_p^{1,06}}{104 - v}, \quad (1)$$

где  $F$  — площадь изношенности зуба пилы, мм<sup>2</sup>;  
 $S_z$  — подача на зуб, мм;  
 $L_p$  — путь резания, совершаемый одним зубом, м;  
 $v$  — скорость резания, м/с.

Уравнение (1) адекватно (проверено по критерию Фишера) отражает характер влияния режимов пиления на площадь изношенности зуба пилы в пределах условий выполненных опытов:  $v = 25 \dots 85$  м/с,  $S_z = 0,15 \dots 0,65$  мм,  $L_p = 2 \dots 20$  км.

Если площадь изношенности достигает допустимой величины  $F_d$ , тогда практически отсутствует задний угол резания, наступает нагрев инструмента, что резко снижает качество обработки. С учетом этого из формулы (1) определяем допустимый путь резания для одного зуба:

$$L_{p.d} = \left[ \frac{F_d (104 - v)}{5,45 \cdot 10^{-5} S_z^{0,48}} \right]^{1/1,06} \quad (2)$$

Оптимальным следует считать такой режим резания, при котором будет получена минимальная себестоимость обработки единицы продукции:

$$C_0 = E_0 + E_n + E_b \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $E_0$ ,  $E_b$ ,  $E_n$  — затраты на выполнение основной и вспомогательных операций и на содержание инструмента.

Значения  $E_0$  и  $E_n$  можно определить по формулам

$$E_0 = [r_p n_p + 150K_0 + 0,015C_m / (2m) + 0,5S_m + 1,1N_p c_3 K_n] / Q_\Phi;$$

$$E_n = [t_n (\lambda g_0 + r_p / 60 + 0,015C_m / (120m)) + t_n r_n / 60 + c_{н.и} b_n / a_n + c_{з.т} i] / Q_L,$$

где  $r_p$  — оплата труда станочника, к./ч;  
 $n_p$  — число рабочих, обслуживающих станок;  
 $K_0$  — коэффициент, учитывающий число вспомогательных работников, приходящихся на один станок;

- $C_m$  — стоимость станка, р;  
 $m$  — сменность работы станка;  
 $S_m$  — площадь, занимаемая станком;  
 $N_p$  — мощность резания, кВт;  
 $c_э$  — стоимость электроэнергии, к./ (кВт · ч);  
 $K_n$  — коэффициент использования станка;  
 $Q_\phi$  — часовая фактическая производительность станка;  
 $t_{п}$  — время, затраченное на смену комплекта инструмента, мин;  
 $\lambda$  — коэффициент, учитывающий долю холостого хода станка при смене инструмента;  
 $g_0$  — стоимость электроэнергии при холостом ходе станка, к./ (кВт · ч);  
 $t_n$  — время, затраченное на наладку станка при смене инструмента, мин;  
 $r_n$  — оплата труда наладчика, к./ч;  
 $c_n$  — стоимость одной пилы, к.;  
 $i$  — число пил в комплекте;  
 $b_n$  — стачивание зуба пилы за одну переточку, мм;  
 $a_n$  — допускаемое стачивание пилы за срок службы, мм;  
 $c_{э.т}$  — затраты на переточку одной пилы с учетом накладных расходов, к.;  
 $Q_L$  — производительность станка за период стойкости инструмента.

Мощность резания  $N_p$ , удельная работа резания  $k_T$ , скорость подачи  $v_s$ , часовая производительность  $Q_\phi$  и производительность за период стойкости инструмента  $Q_L$  находим из выражений

$$N_p = \frac{k_T a_{п.п} a_p b h i v_s}{6 \cdot 10^4 \eta_{м.р}}; \quad k_T = C / (S_z^x h^y b^q);$$

$$v_s = 10^{-3} S_z n z; \quad Q_\phi = 60 v_s K_n K_p; \quad Q_L = L_{р.д} S_z z / l,$$

- где  $a_{п.п}$ ,  $a_p$  — поправочные коэффициенты на породу и затупление соответственно;  
 $b$ ,  $h$  — ширина и высота пропила, мм;  
 $\eta_{м.р}$  — кпд механизма резания;  
 $x$ ,  $y$ ,  $q$  — показатели степени;  
 $C$  — постоянная, учитывающая условия пиления;  
 $n$  — частота вращения пилы, мин<sup>-1</sup>  
 $z$  — число зубьев пилы;  
 $l$  — длина дуги резания за один проход зуба пилы в заготовке, м;  
 $K_p$  — коэффициент производительности станка.

Поправочный коэффициент на затупление для продольного пиления круглой пилой находим в зависимости от радиуса закругления лезвия зуба  $\rho$ , мм:

$$a_p = 0,85 + 28\rho + 320\rho^2.$$

Учитывая связь между площадью изношенности и радиусом закругления лезвия зуба, получаем

$$\rho = \sqrt{\frac{5,45 \cdot 10^{-5} S_z^{0,48} L_p^{1,06}}{4,5 (104 - \nu) (\operatorname{ctg} \beta/2 - \pi/2 - \beta/2)}},$$

где  $\beta$  — угол заострения зубьев пилы, рад.

Затраты на вспомогательные операции  $E_b$  не зависят от режимных факторов процесса пиления, поэтому при дальнейшем анализе их в расчет не принимаем.

Подставляя в выражение (3) приведенные выше зависимости и преобразуя их, получаем целевую функцию оптимизации

$$C_o = \frac{A_o}{S_z h K_n} + \frac{B_o h^{1-y}}{S_z^x} + \frac{I_o l}{L_{p.d} z S_z} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $A_o = [100(r_p n_p + 150K_o + 0,015C_m/(2m) + 0,5S_m)]/(6zK_n)$ ;

$$K_n = \frac{1000L_{p.d}}{1000L_{p.d} + t_n/n};$$

$$B_o = \frac{1,1c_3 a_{n.p} a_p i C b}{3,6 \cdot 10^6 \eta_{m.p}};$$

$$I_o = t_n [\lambda g_o + r_p/60 + 0,015C_m/(120m)] + t_n r_n/60 + c_n i b_n/a_n + c_{з.т} i.$$

Анализ зависимости (4) показывает, что с увеличением подачи на зуб себестоимость обработки падает, а кривая не имеет минимума (рис. 1, а). С повышением частоты вращения пилы себестоимость вначале снижается, а затем возрастает в связи с ростом затрат на инструмент (рис. 1, б).

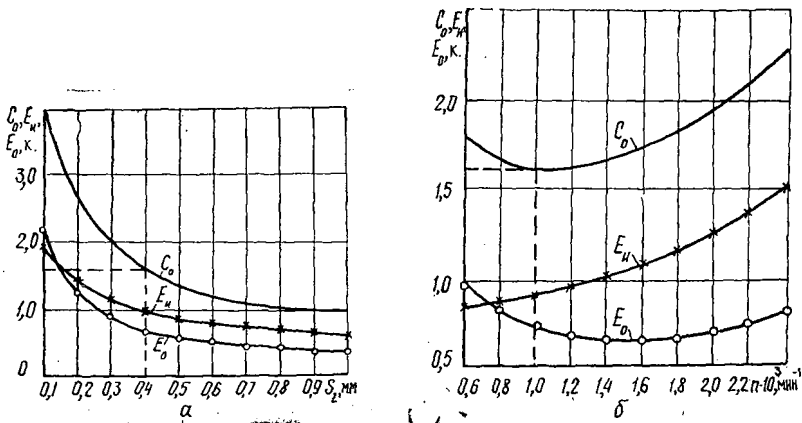


Рис. 1. Зависимости  $C_o$ ,  $E_n$ ,  $E_o$  от  $S_z$  (а) при  $n = 995 \text{ мин}^{-1}$  и от  $n$  (б) при  $S_z = 0,397 \text{ мм}$

Установлены ограничения режима пиления: мощность двигателя механизма резания, объем впадин зубьев пил, шероховатость (качество) поверхности пропила.

Определяем возможную подачу на зуб (мм) для продольного пиления круглой пилой:

по мощности двигателя механизма резания

$$S_z(N) = \left( \frac{6 \cdot 10^7 N_p \eta_{m.p}}{C a_{n.p} a_p b i n z h^{1-y}} \right)^{1/(1-x)} \quad (5)$$

по объему впадин зубьев

$$S_z(W) = W_b / (h\sigma), \quad (6)$$

где  $W_b$  — площадь впадины зуба,  $\text{мм}^2$ ;

$\sigma$  — коэффициент заполнения впадины зуба.

Возможную подачу на зуб по шероховатости поверхности пропила находим опытным путем в зависимости от требуемой по ГОСТ 7016—82 высоты неровностей  $R_m$ :

$$S_{z(R_m)} = [S_z]. \quad (7)$$

Алгоритм разработки оптимальных режимов продольного пиления круглыми пилами с использованием целевой функции (4) и ограничений (5)—(7) представлен на рис. 2.

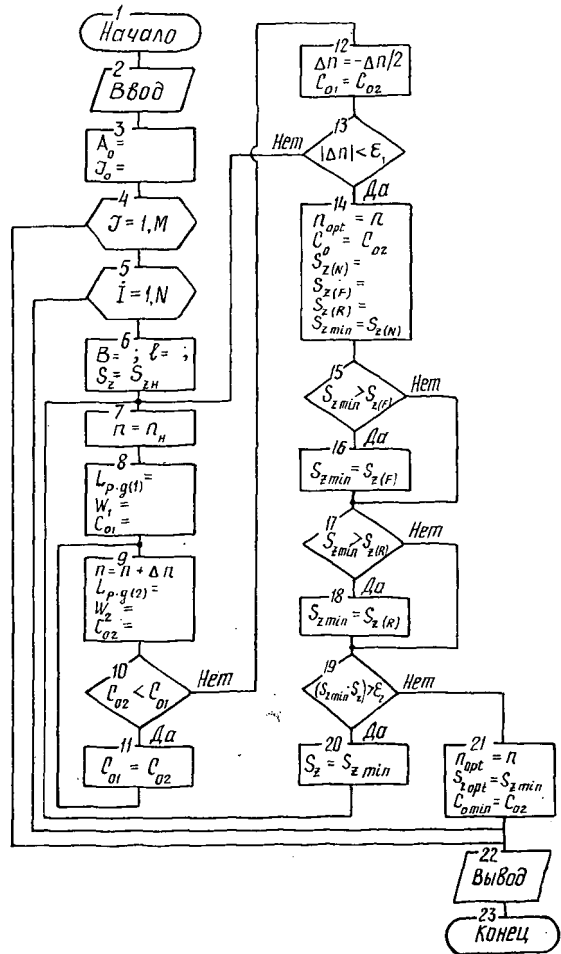


Рис. 2. Алгоритм разработки оптимальных режимов продольного пиления круглыми пилами

В полученном алгоритме модуль 3 находит постоянные, вынесенные за циклы вычислений. Модули 4, 5 содержат циклы расчетов для разных толщин пил  $S_j$  и высот пропилов  $h_i$ . Оптимальное значение подачи на зуб  $S_{z(opt)}$  и частоты вращения пилы  $n_{(opt)}$  находим методом последовательного приближения. В первую очередь при начальном значении подачи на зуб  $S_{z(n)}$  определяют по зависимости (4) минимальное значение себестоимости обработки и соответствующую ей частоту вращения пилы (модули с 6 по 13). Затем для этих значений  $S_{z(n)}$  и  $n$  находят возможную подачу на зуб (модуль 14) с учетом ограничений (5)—(7). Из полученных величин выбирают минимальное значение  $S_{z(min)}$  (модули с 15 по 18), которое используют для новой серии аналогичных расчетов, переходя к модулю 7. Их продолжают до тех пор, пока не будет выполнено условие (модуль 19).

$$S_{z(\min)} - S_z < \varepsilon_2,$$

где  $\varepsilon_2$  — малое число.

При выполнении этого условия осуществляется переход к модулю 21, где найденные значения подачи на зуб и частоты вращения принимают за оптимальные. По этим режимам пиления рассчитывают все выходные показатели. Модуль 22 организует вывод полученных результатов.

С применением приведенных алгоритмов составлена программа для ЭВМ ЕС-1022. Программа позволяет выполнять расчеты оптимальных режимов пиления с учетом конкретных условий эксплуатации станков по критерию минимальной себестоимости обработки.

В таблице приведены рекомендуемые режимы пиления на многопильном станке для распиловки брусков СБ8М-2 при следующих исходных данных:  $N_p = 90$  кВт;  $C_m = 14810$  р.;  $S_m = 72$  м<sup>2</sup>;  $n_p = 1$ ;  $K_0 = 1,3$ ;  $\eta_{м.р} = 0,9$ ;  $m = 2$ ;  $t_n = 20$  мин;  $t_{п} = 20$  мин;  $r_p = 83,5$  к./ч;  $r_n = 74,2$  к./ч;  $c_3 = 2$  к./кВт·ч;  $D_{п} = 500$  мм ( $D_{п}$  — диаметр пилы);  $z = 48$ ;  $a_n = 30$  мм;  $b_n = 0,8$  мм;  $F_d = 0,003$  мм<sup>2</sup>;  $R_{п\max} = 750$  мкм;  $S_0 = 0,7$  мм ( $S_0$  — развод пилы на сторону); материал — сосна;  $\beta = 40^\circ$ ;  $a_p = 1,9$ .

Толщина пилы, мм	Высота пропила, мм	Число пил, шт.	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Подача на ре-зек., мм	Скорость подачи, м/мин	Допустимый путь резания, м	Ограничение
2,0	75	5	1004	1,200	157,84	2454	Качество
	100	6	932	0,972	43,48	2761	Мощность
	125	7	973	0,453	21,15	3853	»
	150	7	992	0,307	14,63	4564	»
2,2	75	5	1004	1,200	57,84	2454	Качество
	100	6	954	0,851	38,94	2913	Мощность
	125	7	995	0,397	18,95	4062	»
	150	7	1013	0,270	13,12	4802	»
2,5	75	5	1004	1,200	57,84	2454	Качество
	100	6	985	0,705	33,34	3141	Мощность
	125	7	1030	0,328	16,20	4380	»
	150	7	1045	0,224	11,24	5177	»

### Выводы

Выбирая режимы пиления на круглопильных станках, необходимо учитывать износ зубьев пил, который зависит от скорости резания, подачи на зуб и пути резания. Критерий оптимальности режима пиления — себестоимость обработки с ограничениями по мощности, объему впадин зубьев и качеству пропила.

Для достижения оптимальных режимов резания привод механизма должен обеспечивать плавное регулирование частоты вращения пильного вала, что особенно важно для многопильных станков. В процессе работы инструмента назначенную оптимальную скорость подачи не следует изменять, так как увеличение скорости подачи для острых пил приводит к их повышенному износу и снижению периода стойкости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Стахийев Ю. М., Пашков В. К. Режимы пиления круглыми пилами для круглопильных станков, применяемых в лесопилении. — Архангельск: ЦНИИМОД, 1987. — 23 с. [2]. Тимонен С. М. Износ и затупляемость зубьев пил как функция пути резания // Лесн. журн. — 1969. — № 3. — С. 67—72. — (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Тимонен С. М. О влиянии скорости резания на износ и затупляемость

зубьев пил в работе // Лесн. журн.—1970.—№ 3.—С. 85—88.—(Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 7 декабря 1990 г.

УДК 674.023(075.8)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

А. И. СОПОТУН, М. Т. БЕЦЬ

Львовский лесотехнический институт

Сложность полей напряжений и деформаций, вызываемых в древесине резцом, не позволяет с достаточной полнотой представлять механику возникновения и аналитическое описание сил на режущем органе и, соответственно, решать ряд прикладных задач. Тем не менее свойства сред в пространстве в теории упругости и механике сплошных сред достаточно хорошо описаны [1, 5, 7] уравнениями в частных производных в виде задач Дирихле, Ляме, Неймана, Римана и др.

В общем случае решение задачи Дирихле, когда на границе некоторой области определена непрерывная функция [6], сводится к отысканию метода, позволяющего непрерывно продолжать определенные функции от границы на всю замкнутую область. При этом исследуемая функция должна быть непрерывно дифференцируема в ней и иметь регулярное решение, например [2]:

$$\iint_F \left[ \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right)^2 \right] dx dy = 0, \quad (1)$$

где,  $\varphi$  — силовая функция Эри.

Компоненты тензора напряжений, выраженные через  $\varphi$ , имеют вид

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \quad (2)$$

значит функционал (1) можно исследовать с позиций баланса моментов сил по всей напряженной области  $F$ . При выражении условия баланса моментов сил, приложенных к контуру напряженной области  $S$ , как

$$\int_S \varphi dS = 0 \quad (3)$$

получаем краевые условия на границе исследуемого напряженного тела:

$$\varphi_l = \int_0^l dy X dS - \int_0^l dx Y dS = \int_0^l (R_x dy - R_y dx), \quad (4)$$

где  $X, Y$  — составляющие единичных поверхностных сил;  
 $dS$  — элемент поверхности (контур) области  $S$ ;  
 $R_x, R_y$  — проекции сил на оси  $x, y$  соответственно.

Переход к внутренней задаче осуществляем, используя условие баланса сил, отнесенных к единице длины контура  $S$  и площади  $F$  (плоская задача) замкнутой области, по интегральной формуле Грина

$$\iint_F \left( \frac{\partial R_x}{\partial x} + \frac{\partial R_y}{\partial y} \right) dx dy = \int_S (R_x dy - R_y dx) = 0. \quad (5)$$

Приведенные уравнения требуют дискретного представления в виде набора многих элементов континуума. Однородность древесины