

УДК 674.053

В.К. Пашков

Пашков Валентин Кузьмич родился в 1933 г., окончил в 1955 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры станков и инструментов Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет более 230 печатных работ в области теплофизики резания древесины круглыми пилами.

**НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ПИЛЕНИЯ КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ ПО УСТОЙЧИВОСТИ ПИЛ**

Изложена методика расчета частоты вращения пил и скорости подачи в круглопильных станках по динамической устойчивости пил. Аналитические зависимости для скоростей подачи позволяют оптимизировать режимы пиления в круглопильных станках по критерию допустимой мощности на резание.

Режимы пиления круглопильных станков принято назначать по максимальной их производительности (скорости подачи). Во внимание принимают основные технические ограничения: к материалу – допустимая шероховатость, к станку – установленная мощность электродвигателя главного привода, к инструменту – емкость впадины зуба и динамическая устойчивость. Это тот минимум, который нецелесообразно сокращать.

В статье приведена методика расчета скорости подачи на круглопильных станках с ограничением по динамической устойчивости пил.

Ограничения при расчете режимов пиления можно свести к учету мощности главного привода и динамической устойчивости инструмента. Последний вид ограничения является основным. Динамическая устойчивость пил определяется температурным перепадом по радиусу диска. Этот фактор объективно сопровождает процесс распиловки круглыми пилами и его нельзя исключить.

Работы, выполненные в УЛТИ, ЦНИИМОД, ЛТА и др., позволили получить обобщающие зависимости для определения связи между допустимой мощностью на резание (из условия динамической устойчивости для конкретного типоразмера пилы) и условиями процесса резания, включающими более 12 технологических факторов.

При записи приведенных ниже расчетных зависимостей использованы следующие обозначения: R_p – расчетный радиус пилы, равный радиусу окружности впадин зубьев плюс половина высоты зуба, см; $f''(c, \lambda)$ – безразмерная функция; k – коэффициент, учитывающий долю мощности на резание, расходуемую на нагрев пилы без зубьев; N_p – мощность на резание,

кВт; D – диаметр пилы, мм; n – частота вращения пилы, c^{-1} ; b – ширина пропила; $Q_{ж.д}$ – количество воды для охлаждения диска пилы, кг; K_n – коэффициент напряженного состояния пилы; v_λ – статическая частота собственных колебаний, $1/c$; c_λ – температурный коэффициент, $1/(c^2 \cdot ^\circ C)$; B_λ – динамический коэффициент; c – отношение радиуса зажимных фланцев к радиусу пилы; λ – число узловых диаметров; ΔT – температурный перепад, $^\circ C$; $\Delta T_{доп}^{макс}$ – максимально-допустимый температурный перепад, $^\circ C$; $\Delta T_{д.у}^{мин}$ – минимальный температурный перепад, соответствующий началу потери динамической устойчивости пилы, $^\circ C$; α_p – коэффициент, учитывающий влияние затупления на силу резания; m – экспериментальный коэффициент, определяемый из выражений (11) – (16); S – толщина диска пилы, мм; $\beta_{охл}$ – коэффициент, учитывающий долю холостого хода в рабочем цикле; p – сила резания по задней поверхности; z – число зубьев; $\alpha_n, \alpha_b, \alpha_w$ – коэффициенты, учитывающие влияние породы, вида резания, влажности; θ – кинематический угол встречи; H – высота пропила, мм; α_T – интенсивность силы трения, H/mm^2 ; K, K_μ – удельная сила резания, H/mm^2 , соответственно для стружки толщиной $a > 0,1$ мм и $a_\mu \leq 0,1$ мм.

В общем виде связь мощности на резание N_p и температурного перепада по радиусу диска пилы ($\Delta T, \Delta T_{доп}^{макс}, \Delta T_{д.у}^{мин}$) можно описать системой*

$$\left. \begin{aligned} \Delta T &= \frac{\beta_{охл} k N_p}{\varphi(D, n, S, Q_{ж.д})} \leq \Delta T_{доп}^{макс}; \\ \Delta T_{доп}^{макс} &\leq 0,85 \Delta T_{д.у}^{мин}; \\ \Delta T_{д.у}^{мин} &= \Phi(K_n, v_\lambda, n, c_\lambda, f''(c, \lambda) B_\lambda, D). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Допустимая мощность на резание N_p для определенного типоразмера пил находится из условия

$$N_p^{доп} \leq 0,85 \Phi(K_n, v_\lambda, n, c_\lambda, f''(c, \lambda), B_\lambda, D) \frac{\varphi(D, n, S, Q_{ж.д})}{k \beta_{охл}}. \quad (2)$$

Минимально допустимый температурный перепад по динамической устойчивости пил определяют по формуле

$$\Delta T_{д.у}^{мин} = \frac{K_n^2 v_\lambda^2 - n^2 (\lambda^2 - B_\lambda)}{82,2 \cdot 10^5 f''(c, \lambda) / R_p^2}. \quad (3)$$

Допустимая мощность на резание вычисляется по формулам: пиление без охлаждения

$$N_{б.о} = 0,85 \frac{K_n^2 v_\lambda^2 - n^2 (\lambda^2 - B_\lambda)}{82,2 \cdot 10^5 f''(c, \lambda) / (0,5D)^2} \cdot \frac{D^{1,3} n^{0,4} S^{0,5}}{12,3 \cdot 10^6 \beta_{охл} k}; \quad (4)$$

* Стахийев Ю.М. и др. Руководящие технические материалы по определению режимов пиления древесины круглыми пилами. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1988. – 74 с.

пиление с охлаждением пилы водо-воздушной смесью

$$N_{в.в} = 0,85 \frac{K_n^2 v_\lambda^2 - n^2 (\lambda^2 - B_\lambda)}{82,2 \cdot 10^5 f''(c, \lambda) / (0,5D)^2} \frac{D^{0,8} n^{0,15} S^{0,5} Q_{ж.д}^{0,17}}{5,85 \cdot 10^4 \beta_{охл} k}, \quad (5)$$

пиление с охлаждением пилы водой

$$N_{в} = 0,85 \frac{K_n^2 v_\lambda^2 - n^2 (\lambda^2 - B_\lambda)}{82,2 \cdot 10^5 f''(c, \lambda) / (0,5D)^2} \frac{D^{0,65} n^{0,075} S^{0,5} Q_{ж.д}^{0,24}}{1,85 \cdot 10^4 \beta_{охл} k}. \quad (6)$$

Из выражений (4) – (6) видно, что ресурс динамической устойчивости пилы может быть увеличен за счет размеров диска (S , D), снижения доли мощности, расходуемой на нагрев (k) и охлаждение инструмента ($Q_{ж.д}$). С позиции экономики увеличение ресурса пилы наиболее эффективно достигается за счет охлаждения ее диска.

Максимально допустимая частота вращения $n_{доп}^{макс}$ пилы определяется из выражения

$$n_{доп}^{макс} \leq 0,85 n_{кр}^{мин}, \quad (7)$$

критическая частота $n_{кр}$ – по формуле

$$n_{кр} = 60 \sqrt{\frac{K_n^2 v_\lambda^2 - c_\lambda \Delta T}{\lambda^2 - B_\lambda}}. \quad (8)$$

Из условия динамической устойчивости пил максимальная скорость подачи определяется аналитическими зависимостями по установленной мощности привода механизма резания. Тогда известное выражение для скорости подачи по установленной мощности привода $U_{д.у}$ с учетом связи температурного перепада с мощностью резания в зависимости от среды охлаждения будет иметь вид:

при толщине стружки $a > 0,1$ мм

$$U_{д.у} = \frac{6 \cdot 10^4 m \Delta T_{д.у}^{мин} \alpha_p p b_1 z n}{\beta_{охл} \alpha_n \alpha_b \alpha_w H \cdot 10^3 \sin \Theta_{ср}} \frac{\alpha_p p b_1 z n}{K b + \alpha_r H}, \quad (9)$$

при $a_\mu < 0,1$ мм

$$U_{д.у} = \frac{6 \cdot 10^4 m \Delta T_{д.у}^{мин} (a_p - 0,8) p b_1 z n}{\beta_{охл} \alpha_n \alpha_b \alpha_w H \cdot 10^3 \sin \Theta_{ср}} \frac{(a_p - 0,8) p b_1 z n}{K_\mu b + \alpha_r H}. \quad (10)$$

Для определения коэффициента m в формуле (10) используют следующие выражения:

при пилении без охлаждения

$$m = 0,85/A; \quad (11)$$

при пилении с охлаждением пилы водо-воздушной смесью

$$m = 0,85 Q_{ж.д}^{0,17} / B; \quad (12)$$

при пилении с охлаждением пилой водой

$$m = 0,85 Q_{\text{ж.д}}^{0,24} / B, \quad (13)$$

где A , B , V – коэффициенты, которые вычисляются по формулам (4) – (6):

$$A = 12,3 \cdot 10^6 \beta_{\text{охл}} k / (D^{1,3} n^{0,4} S^{0,5}); \quad (14)$$

$$B = 5,85 \cdot 10^4 \beta_{\text{охл}} k / (D^{0,8} n^{0,15} S^{0,17}); \quad (15)$$

$$V = 1,85 \cdot 10^4 \beta_{\text{охл}} k / (D^{0,65} n^{0,075} S^{0,5}). \quad (16)$$

Для оптимизации режимов пиления древесины по динамической устойчивости было разработано, изготовлено и проверено в производственных условиях автоматическое управляющее устройство для прирезного станка. Критерием оптимальности являлась предельно допустимая мощность на резание для данного типоразмера пилой, которая автоматически поддерживалась на одном уровне за счет изменения скорости подачи. Использование устройства позволило повысить производительность станка в 1,2 раза.

Примеры расчетов приведены в работе, ссылка на которую дана в сноске на с. 49.

V.K. Pashkov

Specifying Sawing Modes in the Circular Saw Machine Based on the Saws' Stability

The calculation procedure for the rotation frequency and feed rate in the circular saw machines is given based on saw dynamic stability. The analytical dependencies for the feed rate allow optimizing the sawing modes in the circular saw machines according to the cutting power capability criterion.