

МЕТОД РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ РЕЗАНИЕМ

METHOD OF PROCESS CONDITIONS CALCULATION OF CUTTING WOOD

В теории резания древесины на основании экспериментальных исследований установлено, что в случае снятия лезвием срезаемого слоя толщиной $a \geq 0,1$ мм, единичная касательная сила резания может быть описана уравнением (рис. 1, отрезок АВ)

$$F_{x1} = \alpha_{\rho} p + \left(k + \frac{\alpha t}{b}\right) a, \quad (1)$$

где F_{x1} – единичная касательная сила резания, Н/мм; p – фиктивная сила резания, Н/мм; k – касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань зуба, МПа; α_{ρ} – коэффициент затупления режущей кромки лезвия; α – касательное давление, возникающее при

пилинии от трения стружки в пропиле, МПа; t , b – высота и ширина пропила соответственно, мм; a – толщина срезаемого слоя, мм.

В диапазоне микрослоев ($a \leq 0,1$ мм) линия зависимости единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя имеет параболическую форму (рис. 1). Для упрощения расчетов в 60-х гг. прошлого столетия кривую ЕА параболы заменили прямой линией. В этом случае результаты расчетов получались заниженными по величине. В настоящее время, в

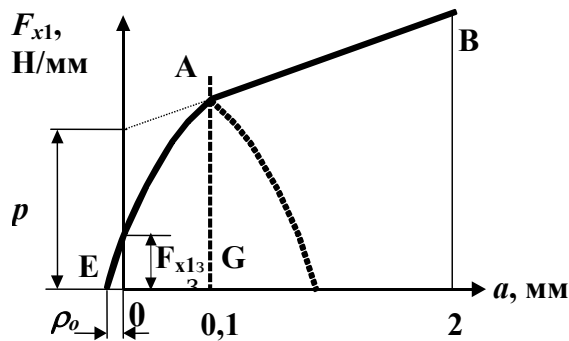


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению касательной силы резания для микрослоев

условиях компьютерных технологий задача упрощения расчетов не стоит. На передний план выступает задача повышения точности расчетов.

Напишем уравнение ветви параболы ЕА. Общее уравнение параболы в осях координат F_{x1} и a имеет вид

$$F_{x1} = ca^2 + da + e, \quad (2)$$

где c , d , e – параметры параболы.

Парабола проходит через точку E , и вершина ее расположена в точке A .

Координаты точки A :

$$a_A = 0G = 0,1 = -\frac{d}{2c};$$

$$F_{x1A} = AG = F_{x0,1} = \frac{4ce - d^2}{4c},$$

где $F_{x0,1}$ – значение касательной силы резания при толщине срезаемого слоя 0,1 мм:

$$F_{x0,1} = p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b}).$$

Отсюда получим

$$d = -0,2c, \quad 4ce - d_2 = 4c F_{x0,1}.$$

Точка E , лежащая на параболе, имеет координаты:

$$a_E = -\rho_0; \quad F_{x1E} = 0.$$

Подставляя эти координаты в уравнение параболы (2), получим

$$0 = c\rho_0^2 - d\rho_0 + e,$$

$$e = -c\rho_0^2 + d\rho_0.$$

Получена система уравнений для определения параметров c , d , e параболы:

$$\begin{cases} d = -0,2c; \\ 4ce - d_2 = 4c F_{x0,1}; \\ e = -c\rho_0^2 + d\rho_0. \end{cases} \quad (3)$$

После решения системы уравнений получено

$$c = -\frac{F_{x0,1}}{\lambda}; \quad d = \frac{0,2F_{x0,1}}{\lambda}; \quad e = F_{x0,1}(1 - \frac{0,01}{\lambda}),$$

где λ – коэффициент: $\lambda = \rho_0^2 + 0,2\rho_0 + 0,01$; где ρ_0 – начальный радиус закругления режущей кромки, мм.

Уравнение единичной касательной силы резания для микрослоев (по уравнению 2) и с учетом поправочных коэффициентов на породу a_n , влажность a_w и вид пиления a_e (встречное, попутное) имеет вид

$$F_{x1} = a_n a_w a_e (p + 0,1(k + \frac{\alpha t}{b}))(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda}). \quad (4)$$

При решении обратных задач из уравнений для единичной касательной силы резания находят значение толщины срезаемого слоя. Сначала по величине заданной мощности определяют значение силы резания при пилении одним зубом

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{x1 \text{ зуб}} b_L,$$

где b_L – длина режущей кромки зуба пилы, мм.

Запишем уравнение (4) касательной силы резания для микрослоев с учетом коэффициента затупления α_ρ режущей кромки зуба в виде

$$\frac{F_{x \text{ зуб}}}{(\alpha_\rho p + 0,1(k + \alpha t / b))b_L} = -\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda}.$$

Обозначим
$$\frac{F_{x \text{ зуб}}}{(\alpha_\rho p + 0,1(k + \alpha t / b))b_L} = m_1.$$

Если $m_1 < 1$, то расчет следует вести по формулам для микрослоев, при $m_1 > 1$ расчет следует вести по формулам для макрослоев.

После преобразования составим приведенное квадратное уравнение

$$a^2 - 0,2a + \lambda(m_1 - 1) + 0,01 = 0.$$

Отсюда

$$a = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)}. \quad (5)$$

При $m_1 = 1$ $a = 0,1$ мм.

Для макрослоев толщина срезаемого слоя определяется по уравнению

$$a_c = \frac{\left(\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w a_b b_l} - \alpha_{\rho} p\right) b}{(kb + \alpha t)}. \quad (6)$$

В приведенных формулах имеется два параметра (p , k), которые учитывают структуру древесины, угол перерезания волокон древесины. При резании различают три главных вида резания (торцовое, продольное, поперечное) и три промежуточных вида резания (продольно-торцовое, поперечно-торцовое, продольно-поперечное). Эти виды резания отличаются положением вектора скорости главного движения и плоскости резания относительно волокон древесины, т.е. величиной угла перерезания волокон.

При продольно-торцовом виде резания угол перерезания называют углом встречи φ_g , $0 \leq \varphi_g \leq 90^\circ$. При поперечно-торцовом виде резания угол перерезания называют углом наклона φ_n , $0 \leq \varphi_n \leq 90^\circ$. Поперечно-продольное резание характеризуют величиной угла скоса φ_c , $0 \leq \varphi_c \leq 90^\circ$. При продольной подаче заготовки в зависимости от положения режущих кромок инструмента относительно волокон древесины возможно резание продольно-торцовое или продольно-торцово-поперечное.

Экспериментально найденные обобщенные зависимости удельной силы резания от углов перерезания волокон для указанных видов резания по данным А.Л. Бершадского [1] приведены на рис. 2. При $\varphi_g = 0$ и $\varphi_n = 0$ имеет место продольное и поперечное резание соответственно. При $\varphi_g = 90^\circ$ и $\varphi_c = 90^\circ$ имеет место торцовое и поперечное резание соответственно. Для всех видов резания наблюдаются синусоидальные корреляционные зависимости удельной силы резания от угла перерезания волокон древесины.

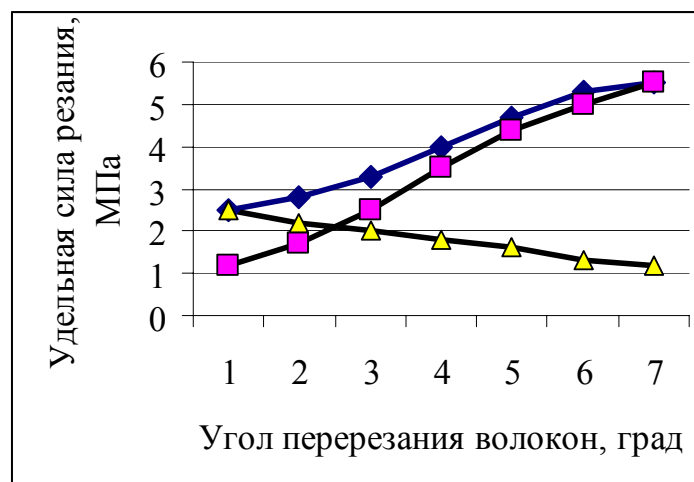


Рисунок 2 – Зависимость удельной силы резания от угла перерезания волокон для резания: 1 – продольно-торцового; 2 – поперечно-торцового; 3 – продольно-поперечного

Для удобства пользования экспериментальными данными кривые графиков представляют в форме уравнений. Для этого часто пользуются методом спрямления кривых. Если кривые графиков рис. 2 построить в осях координат $F_{y\delta}$ (ось ординат) и $\sin^{1,25}\varphi$ (ось абсцисс), то из синусоидальных кривых получатся прямые линии типа АБ (рис. 3). Тогда, обозначив параметры $F_{y\delta}$ и фиктивной силы резания p символом A , получим уравнения прямых линий в общем виде [2]

$$\begin{aligned} A_{//-\perp} &= A_{//} + (A_{\perp} - A_{//}) \sin^{1,25} \varphi_e, \\ A_{\#-\perp} &= A_{\#} + (A_{\perp} - A_{\#}) \sin^{1,25} \varphi_n, \\ A_{\#-//} &= A_{\#} + (A_{//} - A_{\#}) \cos^2 \varphi_c, \end{aligned} \quad (7)$$

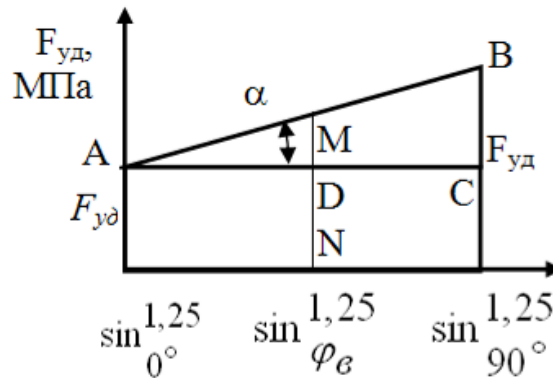


Рисунок 3 – Зависимость удельной силы резания от угла перерезания волокон при продольно-торцовом резании

Для упрощения расчетов, ориентируясь на возможности логарифмической линейки как основного средства выполнения расчетов 60-х годов прошлого столетия, А.Л. Бершадский предложил следующие формулы

$$\begin{aligned} A_{//-\perp} &= A_{//} + (A_{\perp} - A_{//}) \frac{\varphi_e}{90}, \\ A_{\#-\perp} &= A_{\#} + (A_{\perp} - A_{\#}) \frac{\varphi_n}{90}, \\ A_{\#-//} &= A_{\#} + (A_{//} - A_{\#}) \left(1 - \frac{\varphi_c}{90}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Неравномерная ось абсцисс со шкалой $(\sin \varphi_e)^{1,25}$ (см. рис.3) заменена равномерной шкалой $\varphi_e / 90$. В результате такой замены расчетные формулы дают погрешность до 14 %.

Расчетный метод А.Л. Бершадского, созданный в середине прошлого столетия, широко используется на практике в настоящее время. Пользователи практически не знают о тех допущениях и упрощениях, которые были сделаны при создании расчетного метода. В настоящее время, стремясь повысить точность расчетов, надо отказаться от указанных упрощений и расчеты значений параметров p и k выполнять по формулам (7).

На основании рекомендуемых А.Л. Бершадским расчетных формул [2] типа $F_{x1\perp} = (A_{\perp} \delta + B_{\perp} V' - B_{\perp}) a + \alpha_{\rho} p_{\perp} = k_{\perp} a + \alpha_{\rho} p_{\perp}$ для определения силы резания

при главных видах резания и значения эмпирических коэффициентов (таблица 1), предлагаются новые формулы для выполнения современных расчетов, которые приведены ниже.

Таблица 1 – Значения эмпирических коэффициентов A , B , B , МПа, и p , Н/мм для древесины сосны [2]

A_{\perp}	$A_{//}$	$A_{\#}$	B_{\perp}	$B_{//}$	$B_{\#}$ *
0,550	0,196	0,029	0,196	0,069	0,059...0,069
B_{\perp}	$B_{//}$	$B_{\#}$	p_{\perp}	$p_{//}$	$p_{\#}$
19,62	5,40	0,59	4,80	1,57	0,98

* Меньшее значение $B_{\#}$ при $\delta < 55^{\circ}$, большее – при $\delta > 55^{\circ}$.

Расчетные формулы, рекомендуемые для определения значений параметров p и k , при переходных видах резания массивной древесины сосны:

– для продольно-торцового резания

$$p_{//-\perp} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

$$k_{//-\perp} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

– для поперечно-торцового резания

$$p_{\#-\perp} = 0,98 + 3,82 \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

$$k_{\#-\perp} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,521\delta + (0,196 - C)V' - 19,03) \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

– для поперечно-продольного резания

$$p_{\#-//} = 0,98 + 0,59 \cos^2 \varphi_{\delta};$$

$$k_{\#-//} = 0,029\delta + CV' - 0,59 + (0,167\delta + (0,069 - C)V' - 4,81) \cos^2 \varphi_{\delta};$$

– для продольно-торцово-поперечного резания

$$p_{//-\perp-\#} = p_{//-\perp} - (p_{//-\perp} - p_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_{\delta};$$

$$k_{//-\perp-\#} = k_{//-\perp} - (k_{//-\perp} - k_{\#-//}) \sin^{1,25} \varphi_{\delta}.$$

Здесь δ подставляют в град., V' – в м/с. Кроме того,

если $V \leq 50$ м/с, то $V' = (90 - V)$, иначе $V' = V$;

если $\delta \leq 55^{\circ}$, то $C = 0,059$, иначе $C = 0,069$.

Заключение. Устраняя допущения и упрощения, принятые основоположником расчетного метода А.Л. Бершадским в середине прошлого столетия, в статье предлагаются новые приемы определения сил резания в диапазоне микрослоев, а также расчета параметров p и k при переходных видах резания древесины. Предлагаемые формулы дополняют и развивают расчетный метод А.Л. Бершадского, повышают точность расчетов.

Библиографический список

1. Бершадский, А.Л. Резание древесины [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Бершадский; М.: Л. Гослесбумиздат, 1958. 328 с.
2. Бершадский, А.Л. Справочник по расчету режимов резания древесины [Текст] / А.Л. Бершадский; М.: Гослесбумиздат, 1962. 124 с.