

УДК 674.023.2

Л.Т. Свиридов, А.В. Ивановский, В.П. Ивановский

Свиридов Леонид Тимофеевич родился в 1948 г., окончил в 1975 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, проректор по научной работе Воронежской государственной лесотехнической академии, заслуженный изобретатель РФ, заслуженный деятель науки РФ. Имеет более 400 научных работ и 60 изобретений в области механизации лесного хозяйства и деревообработки.
Тел.: (4732) 53-84-38



Ивановский Александр Владимирович родился в 1987 г., студент Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 10 научных работ в области лесоведения и деревообработки.
E-mail: ivanovsky@bk.ru



Ивановский Владимир Павлович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Воронежский лесотехнический институт, доцент кафедры лесоведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 научных работ в области деревообработки.
E-mail: ivanovsky@bk.ru



ОСНОВЫ НАЗНАЧЕНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Приведена методика расчета силовых параметров процесса резания древесины; дано обоснование по выбору основных поправочных коэффициентов; установлена зависимость качества обработанной поверхности от подачи на зуб инструмента.

Ключевые слова: плотность древесины, режим работы, алгоритм, работа резания.

Часто на практике, при подборе режима деления древесины, технологи сталкиваются с реальными трудностями, связанными со значительным (до 30 %) варьированием ее физико-механических показателей и других свойств. Повышения эффективности и интенсификации процессов добиваются, четким назначением режима деления древесины. Методика расчета силовых, мощностных параметров процесса резания древесины и назначение режима работы дереворежущих станков должны соответствовать обработке натуральной и прессованной древесины, обеспечивать простоту составления алгоритма, использование ЭВМ и содержать минимум табличного материала.

Для случая продольного деления натуральной и прессованной древесины нами разработан аналитический метод расчета на ЭВМ скорости подачи и мощности привода [3], практически исключая табличный материал, который представлен в виде расчетных подсистем.

При выполнении исследований использованы методы математического и физического моделирования, компьютерного программирования, а также численного интегрирования и дифференцирования на ЭВМ. Экспе-

риментальные исследования в лабораторных и производственных условиях проведены на разработанных стендах и серийно выпускаемых деревообрабатывающих станках с применением современной измерительной техники. Результаты исследований статистически обработаны на ЭВМ с использованием стандартных и специально разработанных прикладных программ. Для каждого опыта отбирали образцы древесины различных пород, последовательно меняли влияющие факторы.

Согласно существующей методике, при расчете скорости подачи по мощности привода используют следующие зависимости:

$$N_{\text{пр}} = \frac{iP_k V}{1000\eta}; \quad (1)$$

$$P_k = KBH \frac{U}{60V}; \quad (2)$$

$$K = K_{U_z} K_{\Pi} K_W K_t K_{\delta} K_H K_V, \quad (3)$$

где $N_{\text{пр}}$ – мощность привода механизма резания, кВт;
 i – число пил на валу;
 P_k – среднее касательное усилие резания, Н;
 V – скорость резания, м/с;
 η – КПД механизма резания;
 K – удельная работа резания, Дж/см³;
 B – ширина пропила, мм;
 H – высота пропила, мм;
 U – скорость подачи, м/мин;
 K_{U_z} – удельная работа резания в зависимости от подачи на один зуб U_z при продольном пилении воздушно-сухой сосны острыми режущими инструментами, Дж/см³;
 $K_{\Pi}, K_W, K_t, K_{\delta}, K_V$ – поправочные множители на породу и влажность W древесины, затупление инструмента, высоту пропила, угол δ и скорость резания.

Совместное решение (1) – (3) дает возможность определить произведение

$$K_{U_z} U_z = \frac{6 \cdot 10^7 N_{\text{пр}} \eta i}{K_{\Pi} K_W K_t K_{\delta} K_H K_V B n z H}, \quad (4)$$

где n – частота вращения пилы, мин⁻¹;
 z – число зубьев.

По величине $K_{U_z} U_z$ назначают табличное значение U_z и рассчитывают скорость подачи:

$$U = \frac{U_z n z}{1000}. \quad (5)$$

Вышеуказанные поправочные множители назначают по таблицам, что приводит к необходимости при программировании расчета использовать диалоговый режим работы ЭВМ. Однако в профессиональной инженерной деятельности для сокращения продолжительности расчетов стараются этот режим не использовать. В связи с чем было выполнено преобразование табличного материала [1, 2] и экспериментально проверено при делении древесины круглыми пилами и режущими дисками.

1. Поправочные множители на породу и влажность древесины.

Согласно стандартам древесные породы имеют следующую усредненную плотность ρ (кг/м³): липа – 485, сосна – 540, лиственница – 600, береза – 630, бук – 670, дуб – 710, ясень – 770, древесина прессованная – 850 ... 1400.

Множитель K_{ρ} имеет прямолинейную зависимость от плотности древесины. Уравнение прямой линии, проходящей через две точки с координатами $(x_1; y_1)$ и $(x_2; y_2)$, в общем виде представляется формулой

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}. \quad (6)$$

Согласно данной зависимости прямая *1* на рис. 1, *а* отвечает уравнению

$$K_{\rho} = 0,306 \cdot 10^{-2} \rho - 0,65.$$

По табличным данным составляют графическую зависимость поправочного множителя K_W от влажности древесины (рис. 1, *б*). С использованием уравнений (3) – (6) получают

$$\ln K_W = 0,072 \ln W - 0,194. \quad (7)$$

Для расчета K_W на ЭВМ применяют формулу

$$K_W = 0,83W^{0,072}. \quad (8)$$

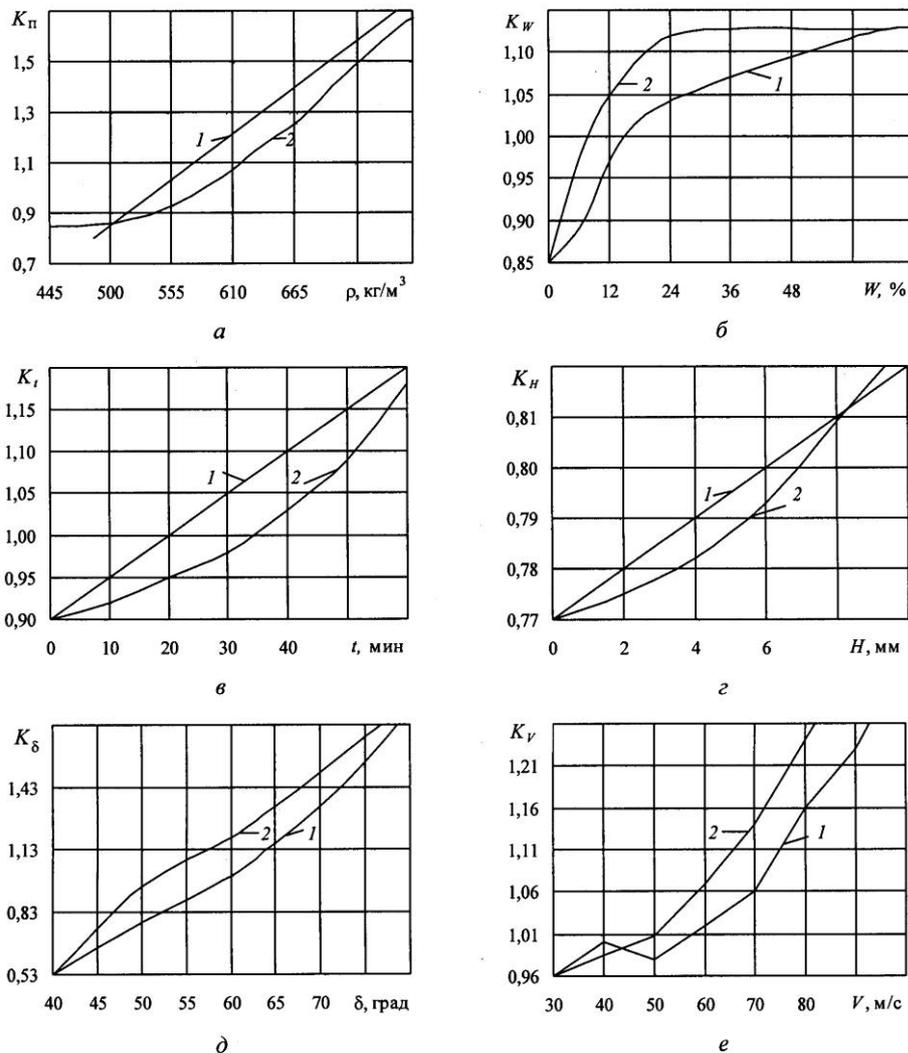


Рис. 1. Зависимость поправочного множителя на породу (а) и влажность (б) древесины, затупление инструмента (в) и высоту пропила (г), угол (д) и скорость (е) резания от плотности и влажности древесины (а, б), периода стойкости инструмента и толщины заготовки (в, г), угла и скорости резания (д, е): 1 – теоретическая, 2 – экспериментальная

2. Поправочные множители на затупление пилы и высоту пропила.

В различных методиках [1, 2] значение K_t выбирают в зависимости от продолжительности работы стальной пилы без переточки. Графически зависимость $K_t = f(t)$ представлена на рис. 1, в. Для расчета на ЭВМ используют формулу

$$K_t = 0,5 \cdot 10^{-2} t + 0,9, \quad (9)$$

где t – продолжительность работы пилы без переточки, мин.

График функции $K_H = f(H)$ – прямая (рис. 1, з). С использованием уравнения (6) получена формула

$$K_H = 0,5 \cdot 10^{-2} H + 0,77. \quad (10)$$

3. Поправочные множители на угол и скорость резания.

Зависимость $K_\delta = f(\delta)$ графически представлена на рис. 1, д. Табличные данные в логарифмических координатах дают прямолинейную зависимость:

$$\ln K_\delta = 1,91 \ln \delta - 7,83. \quad (11)$$

Окончательное расчетное уравнение

$$K_\delta = 0,4 \cdot 10^3 \delta^{1,91}. \quad (12)$$

На основании табличных данных построен график $K_V = f(V)$ (рис. 1, е). При обработке натуральной древесины используют диапазон скоростей резания от 40 до 100 м/с. Для этого диапазона скоростей кривая на рис. 1, е описывается функцией

$$K_V = 0,647e^{0,00723V}. \quad (13)$$

4. Удельная работа резания эталонной древесины в зависимости от подачи на зуб.

Для продольного деления древесины составлена табл. 1, по данным которой построены графики изменения функций $K_{U_z} = f(U_z)$ и $K_{U_z} U_z = f(U_z)$, приведенные на рис 2.

Таблица 1

Расчет удельной работы резания эталонной древесины

U_z	$\ln U_z$	K_{U_z}	$\ln K_{U_z}$	$K_{U_z} U_z$	$\ln K_{U_z} U_z$
0,10	-2,30	80,0	4,38	8,0	2,08
0,15	-1,89	68,0	4,22	10,2	2,32
0,20	-1,61	60,0	4,10	12,0	2,48
0,30	-1,20	49,0	3,90	14,7	2,69
0,40	-0,91	44,0	3,78	17,4	2,85
0,50	-0,69	40,5	3,70	20,2	3,00
0,60	-0,50	38,0	3,64	22,8	3,12
0,80	-0,22	34,5	3,54	27,6	3,32
1,00	0	31,5	3,45	31,5	3,45
1,20	0,18	29,0	3,37	34,5	3,55

Графики показывают необходимость перехода к логарифмическим координатам. Наличие прямолинейных зависимостей в логарифмических координатах позволило после ряда преобразований получить расчетные уравнения для решения прямых и обратных задач:

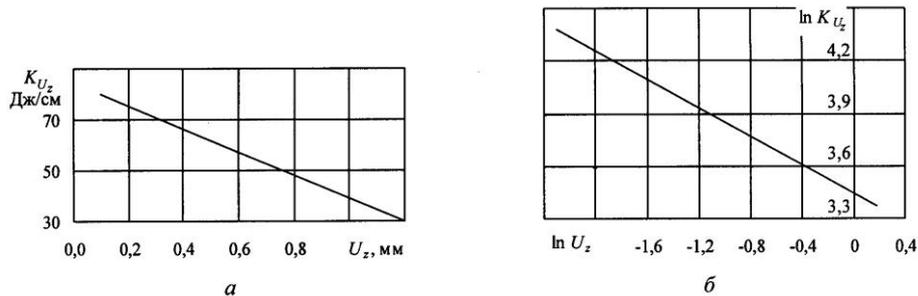


Рис. 2. Зависимость удельной работы резания от подачи на зуб в натуральных (а) и логарифмических (б) координатах

$$K_{U_z} = 31,50U_z^{-0,4}; \quad (14)$$

$$U_z K_{U_z} = 31,43U_z^{0,6}; \quad (15)$$

$$U_z = 0,3 \cdot 10^2 (U_z K_{U_z})^{1,68}; \quad (16)$$

$$N_{\text{пр}} = 31,5U_z^{0,6} K_{\text{попр}} BH \frac{nz i}{10^7 \eta_6}; \quad (17)$$

$$U_{z_N} = 0,6 \sqrt[0,6]{\frac{1,94 \cdot 10^6 N_{\text{пр}} \eta i}{K_{\text{попр}} BH nz}}. \quad (18)$$

Скорость подачи по мощности привода U_N прямым расчетом на ЭВМ с учетом (5) устанавливают по следующей формуле:

$$U_{z_N} = 0,6 \sqrt[0,6]{\frac{1,94 \cdot 10^6 N_{\text{пр}} \eta i}{K_{\text{п}} K_{\text{в}} K_t K_H K_{\delta} K_V BH nz}}. \quad (19)$$

Для иллюстрации методики расчета режима деления древесины целесообразно использовать диалоговый режим работы ЭВМ:

$$U_N = 0,3 \cdot 10^{-5} (U_z K_{U_z})^{1,861} nz. \quad (20)$$

Из условия напряженности работы впадины между зубьями инструмента определяют скорость подачи:

$$U_{\delta} = \frac{U_{z_{\delta}} nz}{1000}, \quad (21)$$

где $U_{z_{\delta}}$ – подача на зуб по работоспособности зубчатого венца,

$$U_{z_{\delta}} = Qt^2 / \varepsilon H. \quad (22)$$

Здесь Q – коэффициент формы зуба, $Q = 0,4 \dots 0,5$;

ε – коэффициент напряженности впадин зуба, $\varepsilon = 2 \dots 3$.

Таким образом,

$$U_{\varepsilon} = \frac{Qt^2nz}{\varepsilon H \cdot 1000}. \quad (23)$$

Для назначения скорости подачи по заданной шероховатости поверхности необходимо установить корреляционную зависимость высоты микронеровностей Rm_{\max} от подачи на зуб U_z .

В результате были установлены формулы для определения допустимых значений подачи на зуб:

пила с разводом

$$U_z = \frac{Rm_{\max}^{1...3}}{6811};$$

пила с плющением (или режущий диск)

$$U_z = \frac{Rm_{\max}^{1,243}}{2960},$$

а также скорости подачи на допускаемой высоте неровностей:

пила с разводом

$$U_{Rm} = \frac{Rm_{\max}^{1...3}nz}{6811 \cdot 10^3};$$

пила с плющением (или режущий диск)

$$U_{Rm} = \frac{Rm_{\max}^{1,243}nz}{2960 \cdot 10^3}.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет высоты микронеровностей для диапазона углов встречи от 20 до 50°

Rm_{\max}	$\ln Rm_{\max}$	U_z	$\ln U_z$
1000	6,90	1,20/1,80	0,18/0,58
650	6,47	1,00/1,50	0,00/0,40
410	6,00	0,80/1,20	-0,22/0,18
320	5,77	0,50/0,75	-0,69/-0,29
260	5,56	0,30/0,45	-1,20/-0,80
200	5,30	0,20/0,30	-1,61/-1,20
150	5,00	0,10/0,15	-2,30/-1,90

Примечание. В числителе приведены данные для пилы с разводом, в знаменателе – с плющением (или режущий диск).

По известной силе резания можно точнее установить величину необходимых деформирующих усилий в процессах бесстружечного деления и прессования древесины мягких лиственных пород без неконтролируемого разрушения стенок сосудов древесины. Практическое значение проведенных исследований направлено на снижение энергоемкости в процессах прессования и деформирующей обработки мягколиственной древесины, а также на повышение производительности и качества обработки ее поверхности. Полученные реологические коэффициенты необходимо учитывать при проектировании технологических операций и инструментов бесстружечного деления мягколиственной древесины.

Для стружечных способов механической обработки древесины найденные значения нужны при проектировании инструментов, адаптированных для резания мягколиственных пород, выборе угловых и линейных параметров инструментов. Определенные нами значения реологических коэффициентов упругости и пластичности мягколиственных пород позволяют увеличить производительность разделительных операций на 15 ... 20 % за счет снижения энергоемкости и трудоемкости, а также улучшить качество обработанных поверхностей на 10 ... 15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амалицкий, В.В.* Оборудование отрасли: учеб. [Текст] / В.В. Амалицкий. – М.: МГУЛ, 2006. – 584 с.
2. *Любченко, В.И.* Резание древесины и древесных материалов [Текст] / В.И. Любченко. – М.: МГУЛ, 2002. – 310 с.
3. *Свиридов, Л.Т.* Резание древесины различной прочности [Текст] / Л.Т. Свиридов, В.П. Ивановский. – Воронеж: ВГУ, 2005. – 200 с.

L.T. Sviridov, A.V. Ivanovsky, V.P. Ivanovsky

Purpose Bases of Force Parameters for Wood Division

The technique of force parameters estimation for wood cutting process is provided, the substantiation on selection of basic correction coefficients is given, the dependence of quality of treated surface on feeding to the tool tooth is established.

Keywords: wood density, operation mode, algorithm, cutting operation.