

За два года работы мы добились многого. Однако у нас есть еще немало неиспользованных резервов для дальнейшего повышения комплексной выработки. Особо важным резервом является механизация трудоемких процессов на нижнем складе. Мы сейчас значительно снизили трудозатраты на нижнем складе путем уменьшения количества сортиментов, вырабатываемых на одной эстакаде, а также за счет

увеличения высоты эстакад до двух метров и за счет частичной ликвидации фазы штабелевки. После установки кабель-крана мы сможем организовать отгрузку леса в хлыстах, кроме того сейчас ускоренными темпами строится механизированный нижний склад. Все это поможет коллективу в борьбе за достижение еще лучших производственных показателей.

УДК 674.093.6

О расчете режимов продольного пиления

Профессор А. БЕРШАДСКИЙ

Отмечая большие успехи в развитии науки о резании древесины, мы должны вместе с тем признать, что все еще наблюдается засоренность нашей технической литературы ошибочными, противоречивыми положениями и рекомендациями, которые, как ржавчина, глубоко проникли в наши представления о процессе резания.

Эти недостатки связаны, главным образом, с методикой расчета режимов резания вообще и продольного пиления, в частности.

Ошибочные рекомендации можно встретить в официальных инструкциях и руководящих материалах, например, в инструкции 1956 г. ЦНИИМОД по расчету посылок и режимов пиления круглыми пилами, в широко распространенных изданиях таких, как книга канд. техн. наук П. С. Афанасьева «Конструирование деревообделочных станков» (Машгиз, 1960 г.), в издании Всесоюзного заочного лесотехнического института (А. Г. Лаптев «Станки и инструменты по обработке древесины», 1963 г.), в ряде справочников и т. д.

Как производились расчеты? Для того, чтобы определить величину удельной работы, брали значения по таблицам частных опытов (K_0) и умножали на поправочные коэффициенты, имеющие постоянное значение

$$K = K_0 \cdot a_v \cdot a_p \cdot a_\delta \cdot a_n \dots \text{ кгм/см}^2 \quad (1)$$

где:

- a_v — поправочный коэффициент на влияние скорости резания,
- a_p — то же на затупление,
- a_δ — на угол резания,
- a_n — на породу и т. д.

Эта широко распространенная формула подкупала своей внешней простотой для «производственных» расчетов режимов резания. Однако по существу эта формула выражает лишь непонимание процесса резания. Ведь в ней принимаются постоянные значения величин коэффициентов. На самом же деле эти коэффициенты являются переменными величинами, которые изменяются с изменением параметров процесса.

Возьмем коэффициент a_v . Если исследовать удельную работу при изменении скорости резания от 50 до 120 м/сек. (по опытам Н. К. Якунина), то окажется, что с изменением толщины стружки от 0,26 до 1,4 мм коэффициент a_v изменяется от 1,3 до 1,85 ($\delta = 60^\circ = \text{const}$).

При переменном значении углов резания (45 и 65°) и изменении скоростей резания от 60 до 90 м/сек., но при постоянном значении толщины стружки коэффициент a_v изменяется от 1,4 до 1,1 (опыты Н. И. Давыдовой, БЛТИ). Это значит, что принять данный коэффициент постоянным нельзя, так как он является функцией процесса и изменяется с изменением величины подачи на зуб с и угла резания δ .

Опыты проф. Кивимаа (Финляндия) убедительно показали, что коэффициент затупления a_p зависит от толщины стружки e мм. По его данным, при $e=1$ мм $a_p=1,09$, а при $e=0,1$ мм $a_p=1,51$.

Не менее убедительные показатели получены в опытах П. А.

Носовского (Львовский лесотехнический институт), изучавшего влияние затупляемости дереворежущего инструмента на силовые параметры. При изменении угла резания в пределах от 45 до 75° и толщины стружки от 0,05 до 0,5 мм при значении радиуса затупления реза, равном 7,5 и 75 м, величина коэффициента a_p изменяется от 1,25 до 3,4 для бука и от 1,1 до 3 для ели.

Иначе говоря, a_p является величиной переменной и зависит как от продолжительности работы, так и от параметров процесса — толщины стружки и угла резания и др.

Обращаясь к коэффициенту породы a_n следует сказать, что на силовые параметры процесса, помимо породы, влияет также направление резания по отношению к волокнам. Это общеизвестно, и все же в расчетах значение коэффициента a_n принимается постоянным для породы. Напомним, что по опытам проф. Ф. М. Манжоса при резании дуба вдоль волокон коэффициент a_n равен 1,27, а при резании в торец — 1,9. Еще более разительные цифры получены аспирантом Нгуен Ван Мином (МЛТИ) при резании железного дерева: если при резании вдоль волокон коэффициент a_n равен 1,75, то при резании в торец — 3,9. Следовательно, если принять его постоянным, то можно ошибиться более, чем вдвое.

Достаточно приведенных, на выдержку, примеров, чтобы понять, что коэффициенты a_p , a_v , a_n и другие не отражают существа процесса и сама формула [1] лишена физического смысла. Как уже указывалось, значения удельной работы K_0 при расчетах брались по опытным данным, имевшим, как правило, только частное значение. Постараюсь показать, к чему приводит возведение в общие рекомендации результатов частных опытов.

Особенно неблагоприятно у нас с расчетами режимов продольного пиления круглыми пилами. Наибольшее количество публикаций по этому вопросу за последние годы было сделано канд. техн. наук Н. К. Якуниным. Однако все они противоречивы.

Например, если пользоваться «Инструкцией по выбору режимов пиления круглыми пилами при продольной распиловке древесины хвойных пород» (Минлеспром СССР, ЦНИИМОД, 1956 г.), в основе которой лежат опыты Н. К. Якунина, то окажется, что при увеличении высоты пропила в 6 раз (с 20 до 120 мм) при прочих одинаковых условиях, величина удельной работы увеличится в 1,7 раза (в опытах был принят постоянный угол встречи между скоростью резания и подачи).

Однако уже в 1960 г. были опубликованы новые исследования Н. К. Якунина по распиловке тонкомерного сырья на многопильных круглопильных станках. Согласно этим исследованиям, при изменении высоты пропила от 60 до 240 мм, т. е. в 4 раза, удельная работа не увеличивалась, а уменьшалась в 2 раза, причем угол встречи изменялся от 46 до 63° .

Наконец, в том же 1960 г. публикуется работа того же автора «Распиловка бревен и брусьев на круглопильных станках», в которой по материалам исследования Инис Эндриуса (Канада, 1955 г.) устанавливается, что при росте высоты пропила с 50 до 300 мм, т. е. в 6 раз, удельная работа не увеличивается и не уменьшается, а остается постоянной. Таким образом, на-

лицо противоречивые данные, которыми нельзя пользоваться в расчетах. Это свидетельствует о полном неблагополучии с рекомендациями по расчету режимов продольной распиловки круглыми пилами.

В упомянутой выше работе канд. техн. наук П. С. Афанасьева также допущена ошибка. Вместо значений удельной работы, взятых из опытов, он приводит значения напряжений (σ кг/мм²), возникающих при разрушении древесины, по данным опытов проф. К. Баумана (1922 г.). Между тем, эти величины несопоставимы, о чем еще в прошлом веке было известно из работ основоположника науки о резании проф. И. А. Тиме.

Приводя эти примеры, я хотел показать, что процесс резания — это сложный процесс, в котором имеется одновременно целый ряд взаимодействующих величин, и вести расчет режимов, пользуясь постоянными коэффициентами, нельзя, так как они не могут отразить имеющиеся взаимосвязи. Нельзя также принимать величину удельной работы, полученную при определенных конкретных условиях, для расчета каких-то других условий, поскольку эта величина изменяется с изменением параметров процесса.

Итак, расчет по формуле [1] не может быть признан целесообразным. Эта формула не только не заполняет пробела в методике расчета режимов резания, но недопустимо его расширяет своей ошибочностью. Вот почему так важно разработать обоснованные решения, вскрывающие взаимосвязь между основными факторами процесса резания.

Постараюсь показать, что частные случаи подчиняются при правильной их обработке общему закону.

В чем сущность общего закона резания? Резец, вклинившийся в древесину по стрелке V (рис. 1), производит сжатие материала. Если при свободном сжатии образца (рис. 2а) напряжения σ кг/мм² растут пропорционально относительной деформации λ (Закон Гука), причем $\lambda \approx 3\%$ в момент разрушения образца, то характер связи между напряжением σ кг/мм² и относительной деформацией λ при сжатии образца в замкнутом или полузамкнутом пространстве резко отличен (рис. 2б).

Сжатие в замкнутом и полузамкнутом пространстве древесины, как материала волокнисто-слоистого, разноклеточного строения, происходит при постоянном давлении σ кг/мм² и уменьшающемся объеме. На рис. 2б показано изменение σ кг/мм² при изменении λ для сосны при влажности 20% и объемном весе, равном 0,54 г/см³.

В результате изменения λ от 0 до 0,6 происходит изменение объема древесины в 2,5 раза при постоянном давлении σ .

Объемный вес при этом $\gamma_1 = 0,54 \cdot 2,5 = 1,35$, мало отличается от объемного веса вещества древесины $\gamma_{др} = 1,56$. Поэтому малейшее уменьшение объема влечет за собой значительное увеличение σ кг/мм² (см. рис. 2б).

Однако усадка стружки при резании всегда меньше $\lambda = 0,45$, т. е. стружкообразование происходит в зоне постоянства давления σ кг/мм².

Это положение и есть общий закон резания. Таково физическое обоснование формул для анализа и расчета режимов продольного пиления, а также для других технологических процессов.

Анализируя взаимодействие между резцом и древесиной, мы получим основные формулы для сил резания, параллельных (касательных) и перпендикулярных (нормальных) к скорости резания V м/сек, для силы подачи, параллельной скорости подачи U м/сек, и для силы прижима или отталкивания заготовки в отношении стола, перпендикулярной к скорости подачи U .

Реальное лезвие резца, закругленное по радиусу r (рис. 3), создает в древесине в наиболее выступающей по направлению движения резания точке Z_1 напряжение, необходимое для образования новой поверхности (линия 00 — след плоскости резания). Древесина разделяется по линии 00 на две системы — I — система номинальной стружки e , на которую воздействует передняя грань резца, находящаяся над линией 00, и II — система поверхностного слоя обработки, на которую действует задняя грань резца, находящаяся под линией 00.

В системе I от передней грани резца на стружку действует нормальная сила N и сила трения по передней грани μN , где μ — коэффициент трения. Разлагая их равнодействующую N' параллельно и перпендикулярно к скорости резания, получаем силу резания (или касательную) по передней грани P_n и силу, нормальную к P_n , действующую на стружку P_c .

Из рис. 3 усматриваем:

$$P_c = P_n \operatorname{tg}(90^\circ - \delta - \varphi) \quad (2)$$

где φ — угол трения, равный 20—25°.

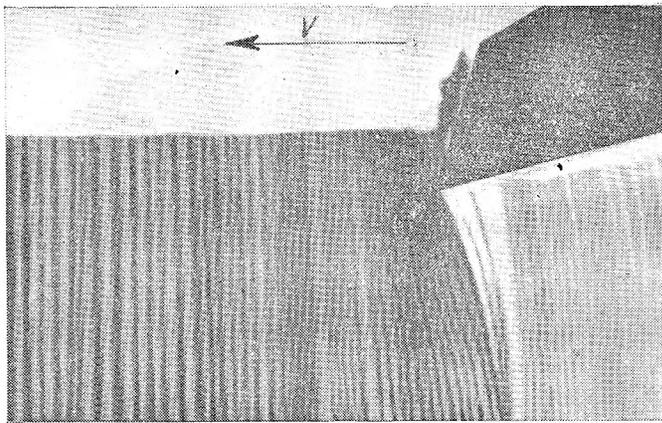


Рис. 1. Деформация древесины при вклинивании резца (рентгеновский снимок)

Отсюда следует, что в зависимости от величины угла резания δ сила $P_c \geq 0$, т. е. является знакопеременной. Что касается силы P_n , которая согласно общему закону резания представляет собой сумму постоянных касательных давлений k кг/мм² действующих по всей толщине стружки e мм, то:

$$P_n = k \cdot e = f(e) \quad (3)$$

(На рис. 3 в верхней части показаны построения для определения δ_N и $\mu \delta_N$ значения k кг/мм²).

Задняя грань резца (позиция I), расположенная ниже линии раздела 00, будет подминать древесину. Сила отжима $P_{отж}$ перпендикулярна к скорости резания V и постоянна по направлению и величине при заданном $\angle \alpha$ и r мм, т. е. $P_{отж}$ — знакопеременная сила, всегда направленная перпендикулярно к

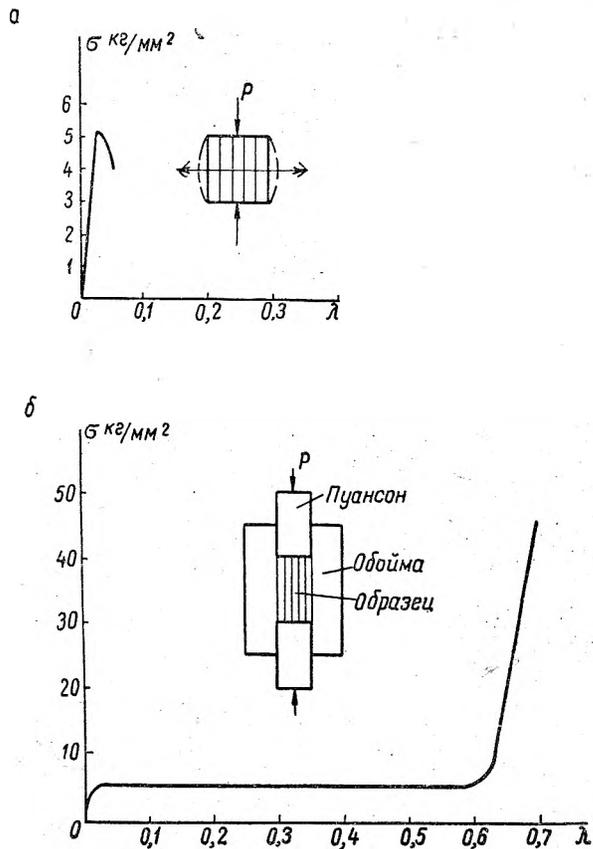


Рис. 2. Эпюра δ кг/мм² — λ при свободном сжатии древесины (а) и при сжатии древесины в замкнутом пространстве (б)

Все увеличение общей силы резания P произойдет за счет возрастания силы P_3 по задней грани.

Эти положения проф. М. А. Дешевого подтвердили опыты проф. Кивимаа, обработанные мною по методу общего закона резания. Например, были получены следующие значения силы резания березы в торце:

$$P_{\text{остр}} = P_3 + k\epsilon = 0,4 + 3,8\epsilon,$$

$$P_{\text{туп}} = P_{3p} + k\epsilon = 0,8 + 3,8\epsilon, \text{ т. е. } \kappa = 3,8 \text{ по передней грани} = \text{const, а по задней грани } a\rho = \frac{0,8}{0,4} = 2.$$

Здесь надо отметить, что до разделения процесса на его составные части на основе общего закона резания, коэффициент затупления $A\rho$ определялся интегрально, т. е. принимали

$$A\rho = \frac{P_{\text{туп}}}{P_{\text{остр}}}, \text{ придавая ему одно значение по времени работы в часах, не оговаривая факторов процесса резания. Поскольку разделение процесса не было, то и не было понимания, что } A\rho = f(\epsilon, \text{ породы, } \angle\delta \text{ и ряда других факторов), как отметил в своих опытах Г. А. Юсовский, и о чем упоминалось выше.}$$

Например, по Кивимаа,

$$A\rho = \frac{P_{\text{туп}}}{P_{\text{остр}}} = \frac{0,8 + 3,8\epsilon}{0,4 + 3,8\epsilon} = f(\epsilon)$$

и если, например, $\epsilon = 0,1$ мм, то $A\rho = 1,51$, а при $\epsilon = 1$ мм $A\rho = 1,09$.

Значения $a\rho$, которые принимаются в формулах общего закона резания, относятся только к тому слагаемому общей силы P , на котором сказывается затупление, а не ко всей силе P , как ошибочно принимали раньше.

Если при остром резце ($a\rho = 1$) $P_3 = 0,2P_3 = (1-0,8)P_3$, то при тупом резце ($a\rho > 1$) $P_{3p} = (a\rho - 0,8)P_3$, а P_n сохраняет свое значение.

Следовательно, формула [7] при $\epsilon > 0,1$ мм примет вид

$$K\rho = k + \frac{a\rho P_3}{\epsilon} \quad (12)$$

а формула [8] при $\epsilon < 0,1$ мм примет вид

$$K\rho\mu = 8\rho_3 + k + \frac{(a\rho - 0,8)P_3}{\epsilon\mu} = K\mu + \frac{(a\rho - 0,8)P_3}{\epsilon\mu} \quad (12a)$$

Обратимся теперь к уравнению [5]. При условии, если $P_\mu = 0$, получим:

$$0,2P_3 + k\mu\epsilon\mu = 0,$$

$$\text{или } \epsilon\mu = -\frac{0,2P_3}{k\mu} = -\frac{0,2P_3}{\text{tg}\varphi_2} \quad (13)$$

Продолжив на рис. 4 линию Аа до пересечения с осью абсцисс, получим на ней отрицательное значение $\epsilon\mu = -a\rho$.

Понятно, что $P_\mu = 0$ при касании бруска лезвием с радиусом ρ (рис. 7).

Следовательно, при $P_\mu = 0$

$$-e\mu = -\rho \quad (14)$$

Таким образом (см. уравнение [13]).

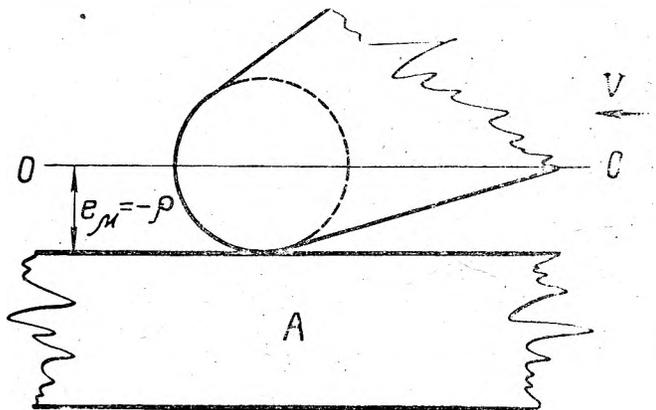


Рис. 7. Схемы воздействия реза на древесину при круговом резе.

$$\rho = \frac{0,2P_3}{\text{tg}\varphi_2} = \frac{(1-0,8)P_3}{k\mu} \quad (15)$$

Мы приняли изменение силы резания в области микростружек по прямой линии (Аа). Уточняя закон изменения силы P_μ , инж. В. И. Чуприн (Каунасский политехнический институт) показал, что она изменяется не по прямой, а по параболе и величина $0a_1 = 2\rho$ (рис. 4) и, следовательно,

$$\rho = \frac{0,1P_3}{k\mu} \quad (16)$$

При увеличении начального ρ , при котором $a\rho = 1$, до ρ_1 , при котором $a\rho > 1$, получим по формуле [15], заменяя единицу при остром резце на $a\rho$, при тупом:

$$\rho_1 = \frac{(a\rho - 0,8)P_3}{k\mu} \quad (17)$$

Деля [17] на [15], получим

$$\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{a\rho - 0,8}{1 - 0,8}, \text{ откуда } a\rho = \frac{0,2\rho_1}{\rho} + 0,8. \quad (18)$$

Обозначая через $\Delta\rho$ прирост начального радиуса затупления ρ , получим:

$$\rho_1 = \rho + \Delta\rho \quad (19)$$

и

$$a\rho = \frac{0,2(\rho + \Delta\rho)}{\rho} + 0,8 = 1 + \frac{0,2\Delta\rho}{\rho} \quad (20)$$

Зная начальный радиус затупления $\rho \approx 5\mu$ и прирост $\Delta\rho$ на пути контакта реза с древесиной, определяем по формуле [20] величину $a\rho$.

В порядке первого приближения, можно принять для стали 85ХФ при резании хвойных пород

$$\Delta\rho = 0,00000006 \frac{h}{\sin\Theta} \cdot n \cdot T \eta_{рд} \cdot \eta_{мв}, \quad (21)$$

а для лиственных пород (дуб, бук) $\Delta\rho$ выше на 35%.

В формуле [21] приняты следующие обозначения: h мм — высота пропила, Θ — кинематический угол встречи (меньший из углов между векторами скорости резания V и скорости подачи U); n — число оборотов в 1 мин.; T — время работы в часах; $\eta_{рд}$ — коэффициент использования рабочего дня; $\eta_{мв}$ — коэффициент использования станочного времени.

(Номограмма для определения Θ , $\sin\Theta$, $\cos\Theta$ помещена в «Справочнике по расчету режимов резания древесины», Гослесбумиздат, 1962 г.).

Переходим теперь к определению мощности, расходуемой на резание.

Удельная работа по формулам [12] и [13] не учитывала открытой фрез, а потому при пилении удельная работа должна быть увеличена за счет трения стружки о боковые стенки пропила на:

$$K_{тр} = \frac{a h}{b} \text{ кг/мм}^2, \quad (22)$$

где a кг/мм² — интенсивность трения, h мм — высота пропила, b мм — ширина пропила.

Тогда значения K по формуле [12] и $K\mu$ по формуле (12,а)

будут:
при $\epsilon > 0,1$ мм:

$$K = k + \frac{a h}{b} + \frac{a\rho P_3}{\epsilon} \quad (23)$$

при $\epsilon < 0,1$ мм:

$$K\mu = k\mu + \frac{a h}{b} + \frac{(a\rho - 0,8)P_3}{\epsilon\mu} \quad (24)$$

С учетом развода или плющения зубьев имеем:
для $\epsilon > 0,1$ мм:

$$e_p = \frac{b}{s} c \sin\Theta; e_n = c \sin\Theta,$$

для $e_{\mu} < 0,1$ мм.

$$e_{\mu p} = \frac{b}{s} c \sin \theta; e_{\mu n} = c_{\mu} \sin \theta.$$

Индекс «р» — обозначает развод, а «п» — плющение, $a_p = 0,072$, $a_n = 0,056$ для круглых пил, $a_p = 0,025$, $a_n = 0,02$ для рамных и ленточных пил.

При заданном режиме определяем K по формуле [23] или [24] и затем мощность, расходуемую на резание:

$$N_{\text{квт}} = \frac{K \cdot b \cdot h \cdot U}{60 \cdot 102} \approx \frac{K \cdot b \cdot h \cdot c \cdot z \cdot n}{6 \cdot 10^6}, \quad (25)$$

где $c_{\text{мм}}$ — подача на зуб, z — число зубьев, остальные величины даны ранее.

Для того, чтобы определить величины подачи на зуб, посылки и скорости подачи, решается уравнение [25] относительно $(K \cdot c)$ и подставляется значение K из формул [23] или [24]. Получается подача на зуб для разведенных зубьев:

$$C_p = \frac{6 \cdot 10^6 N}{h \cdot z \cdot n} \frac{a_p p_s S}{\sin \theta} \frac{1}{k b + a_p h} \text{ мм}, \quad (26)$$

$$C_{p\mu} = \frac{6 \cdot 10^6 N}{h \cdot z \cdot n} \frac{(a_p - 0,8) p_s S}{\sin \theta} \frac{1}{k_{\mu} b + a_p \cdot h} \text{ мм}. \quad (27)$$

Так как подача на зуб, умноженная на число зубьев, дает посылку ($\Delta = C_p \cdot z$), а скорость подачи равна $U_p = \frac{C_p z \cdot n}{1000}$,

то и эти величины также легко определить из формул [26] и [27].

При расчете режимов работы инструментом с плющенными зубьями в выражениях [26] и [27] следует $S_{\text{мм}}$ заменить на $b_{\text{мм}}$ и a_p на a_n .

Для лесопильных рам и ленточных пил $\sin \theta = 1$. Из формул [23] и [24], а также [26] и [27] усматриваем, что для решения задач по расчету режимов резания надо знать p_s и k . Для этого необходимо дальнейшее разделение удельной работы K .

Не имея возможности в объеме статьи привести развернутую методику и все данные обработки опытов, привожу в конечном виде формулу удельной работы при продольном распиливании сосны:

$$K_p = \left\{ [(0,02 + 0,0004 \psi) \delta + (0,007 + 0,00015 \psi) v - (0,55 + 0,016 \psi)] + \frac{a_p h}{b} \right\} + \frac{(0,4 + 0,0036 \psi) a_p}{e_p} \quad (28)$$

Здесь в квадратных скобках значение k .

Примечание: при $V < 50$ м/сек вместо V следует брать $(90 - V)$, $\angle \psi = 90^\circ$ для рамных и ленточных пил.

Таковы примерные расчетные формулы для сосны и других хвойных пород. Они построены на основе общего закона резания для продольной распиловки на лесопильных рамах, ленточнопильных станках и круглых пилах.

Из формулы [28] видно, что ни о каких коэффициентах пропорциональности (e_p , a_p , δ , a_n и т. д.) говорить не приходится. Изменяя в одном из слагаемых значения V или δ , или

p , или $e_p = \frac{b}{p} \sin \theta$, или $e_n = \sin \theta$, мы никак не можем получить пропорционального изменения K по формуле [1], которая, следовательно, не отвечает ни физической, ни практической сущности процесса резания.

Пользуясь приведенными нами формулами, можно правильно анализировать влияние факторов, определяющих режимы пиления и рассчитывать все силовые и энергетические величины, а также производительность. Аналогичным путем определяется и методика расчета режимов других процессов резания древесины.

Обработка опытов фрезерования дуба (И. С. Кугель, БЛТИ), и пиления бука (З. Д. Читидзе, МЛТИ) дает возможность предложить для продольного распиливания дуба и бука формулу:

$$K_p = \left\{ [(0,028 + 0,0006 \psi) \delta + (0,009 + 0,0002 \psi) v - (0,76 + 0,02 \psi)] + \frac{a_p h}{b} \right\} + \frac{(0,47 + 0,01 \psi) a_p}{e_p} \quad (29)$$

Приведенные формулы дают ответы, близкие к опытным, и справедливы для $V = 20 - 120$ м/сек, $h = 20 - 200$ мм, $C = 0,02 - 1,5$ мм, $\angle \psi = \angle \theta = 20 - 80^\circ$, $\angle \delta = 45 - 80^\circ$.

Необходимо на базе общего закона резания провести координированную работу по созданию нормативов для всех процессов резания древесины, древесно-стружечных плит и других композиционных материалов, обобщая не только показатели силовых и энергетических величин, но также и чистоты поверхности обработки.

УДК 634.0.378.8

Пакетная погрузка пиломатериалов в морские суда

Д. И. ВЛАСОВ, гл. инженер, А. Е. ЩЕРБАКОВ, ст. инженер технического отдела. Ленинградский лесной порт

Летом 1964 г. Ленинградский лесной порт произвел опыт пакетной погрузки экспортных пиломатериалов в морские суда по новой технологии. Погрузка производилась на идущие в Англию пароходы «Пермлес» и «Комилес», которые имели различную грузместимость и устройство.

Погрузке предшествовала большая и сложная работа по подготовке буферного склада, разработке конструкции пакета, паспортизации и подготовке графических планов размещения пакетов в трюме и

на палубе, исходя из их параметров, и, наконец, по организации работ во время погрузки пароходов.

Комплектование коносаментов и пакетирование производились вручную двумя производственными участками на сортплощадках. Отсюда пакеты перевозились автолесовозами на буферный склад вблизи причалов, где и раскладывались по партиям с учетом породы, сортов и размеров. Штабелевка и расштабелевка производились автопогрузчиками, а подвозка к пароходу — автолесовозами и погрузчиками.