

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ K_{γ}^e

Проф. А. Л. БЕРШАДСКИЙ

(Архангельский лесотехнический институт им. В. В. Куйбышева)

(В порядке обсуждения)

Механическая технология древесины не имеет теории, обобщающей практику. Все теории резания древесины, предлагаемые со середины XIX столетия и до наших дней, были созданы на недостаточном опытном материале, на априорных и абстрактных предположениях, в результате чего все они или были отменены жизнью или, если и не были полностью опровергнуты, то не получили практического применения.

В этой статье мы делаем попытку обобщения ряда работ по изучению резания древесины, проведенных по отдельным видам резания: АЛТИ, СибЛТИ, ЦНИИМОД, киевским филиалом ЦНИИМОД, лабораторией проф. Заксенберга (Дрезден), Буэсом и др.

Ниже мы излагаем эмпирический метод определения удельной работы K_{γ}^e , входящей в формулу мощности резания:

$$N = \frac{K_{\gamma}^e \cdot b \cdot h \cdot u}{102} \text{ квт} \quad (1)$$

и силы резания:

$$P = \frac{K_{\gamma}^e \cdot b \cdot h \cdot u}{v} \text{ кг}, \quad (2)$$

где:

K_{γ}^e — удельная работа в кгм/см^3 ;

b — ширина пропила или строжки в мм;

h — высота пропила или толщина припуска на строжку в мм;

u — скорость подачи в м/сек.;

v — скорость резания в м/сек.;

γ — угол между направлением резания и направлением волокон (угол встречи).

Мы остановимся на случаях резания под $\angle \gamma$ к направлению волокон, от $\gamma = 0^\circ$ (рез вдоль волокон, индекс \parallel) до $\gamma = 90^\circ$ (торцевой рез, индекс \perp).

Промежуточные случаи резания при $0^\circ < \gamma < 90^\circ$ относятся к круговому резу (продольная распиловка круглыми пилами — продольная строжка вращающимися ножевыми валами, фрезерами и т. п.).

В предлагаемой работе вопрос решается в отношении резания сосны, над которой и производились опыты в лаборатории резания кафедры механической технологии древесины АЛТИ.

I. Зависимость между K_{γ}^e , K_{\parallel}^e , K_{\perp}^e и γ для сосны

а) Основные обозначения к пункту 1:
 γ — угол встречи — угол между направлением волокон и направлением резания;

K_{γ}^e — удельная работа в кгм/см^3 при резании под углом γ к направлению волокон;

K_{\parallel}^e — удельная работа при резании вдоль волокон ($\gamma = 0^\circ$);

K_{\perp}^e — удельная работа при резании в плоскости, перпендикулярной к волокнам — торцевой рез ($\gamma = 90^\circ$);

e — толщина стружки в мм,

δ — угол резания;

v — скорость резания в м/сек.

За скорость резания принимаем приблизительно скорость главного движения, т. е. того из двух рабочих движений, которое имеет большую скорость.

б) Основная зависимость, выведенная нами эмпирически:

$$K_{\gamma}^e \approx K_{\parallel}^e + (K_{\perp}^e - K_{\parallel}^e) \sin \gamma. \quad (3)$$

Доказательство. Д-р инж. Брюне производил опыты по определению K_{γ}^e при резании брусков, вырезанных под различными углами γ к направлению волокон. Результаты опытов при резании бука, ясеня и ели при $e = 0,146$ мм, $\angle \delta = 60^\circ$, $v = 1$ м/сек. и влажности $W = 20\%$ приведены на рис. 1, где по оси абсцисс отложены $\angle \gamma$, а по оси ординат значения K_{γ}^e .

Аналогичные опыты были проведены автором на сосне при $e = 1$ мм, $\angle \delta = 60^\circ$, $v \approx 0,2$ м/сек. и $W = 20\%$. Результаты также приведены на рис. 1. Как видно из рисунка, кривые имеют характер синусоид.

Откладывая по оси абсцисс $\sin \gamma$, а по оси ординат K_γ (рис. 2), получаем ту же самую зависимость K от γ в новой системе координат, выраженной линией, почти совпадающей с прямой.

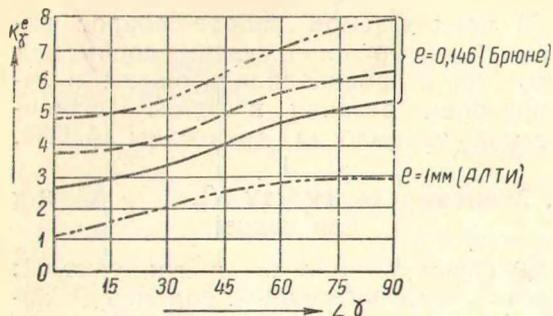


Рис. 1

Пренебрегая отклонениями $\sim 10\%$ от прямой на рабочих участках графика (при строгании от $\gamma=0$ до $\gamma=15^\circ$, при пилении при $\gamma=45^\circ$ до $\gamma=90^\circ$) и останавливаясь как на первом приближении на законе изменения K_γ^e по прямой (рис. 2), получим:

$$K_\gamma^e = K_\perp^e + \sin \gamma \cdot \text{tg } \varphi,$$

где:

$$\text{tg } \varphi = \frac{K_\perp^e - K_\parallel^e}{\sin 90^\circ},$$

т. е.

$$K_\gamma^e = K_\parallel^e + (K_\perp^e - K_\parallel^e) \sin \gamma. \quad (3)$$

II. Соотношение между K^e и e

Это соотношение для сосны дается нами в виде зависимости:

$$K^e = \frac{K}{e^m},$$

где:

K^e — удельная работа в кгм/см^3 при толщине стружки e ;

m — показатель степени, характеризующий интенсивность роста K^e ; $m < 1$;

$K_\#^e$ — удельная работа при резании древесины в поперечном направлении к отношению волокон;

K_\perp^e — удельная работа при толщине стружки e и угле встречи γ ;

K_\parallel^e — удельная работа при $e=1$ мм, которую называют также коэффициентом резания.

Доказательство. В основу доказательства берем результаты опытов проф. Золотарева (Сиб. ЛТИ) для K^e при торцевом, продольном и поперечном резах сосны при влажности 20% и скорости резания 0,2 м/сек. (см табл. 1).

Если справедливо отношение $K^e = \frac{K}{e^m}$, то $\lg K^e = -m \lg e + \lg K'$, что дает уравнение прямой в логарифмической системе координатных осей.

Таблица 1

Толщина стружки e в мм	Удельная работа K^e в кгм/см^3								
	при торцевом резе сосны при δ			при продольном резе сосны при δ			при поперечном резе сосны при δ		
	50°	60°	70°	50°	60°	70°	50°	60°	70°
0,1	4,5	5,0	6,2	2,6	3,7	6,4	1,0	1,1	1,3
0,2	3,7	4,5	5,3	1,7	2,5	5,0	0,8	0,8	0,85
0,4	3,0	3,5	4,4	1,2	1,7	3,9	0,52	0,55	0,6
0,6	2,7	3,0	4,0	1,0	1,3	3,4	0,4	0,44	0,48
0,8	2,5	2,8	3,7	0,8	1,1	3,1	0,38	0,4	0,45
1,0	2,4	2,6	3,5	0,7	1,0	2,7	0,35	0,35	0,37

Откладывая по оси абсцисс значение $\lg e$, а по оси ординат соответствующие значения $\lg K_\perp^e$, $\lg K_\parallel^e$, $\lg K_\#^e$ (рис. 3, 4, 5), получаем для торцевого, продольного и поперечного резов параллельные прямые с разными углами наклона φ , причем $\text{tg } \varphi = m$. При всех заданных углах имеем следующие значения m :

при торцевом резе и $\delta=50-60-70^\circ$	0,25
" поперечном " " $\delta=50-60-70^\circ$	0,5
" продольном " " $\delta=50-60^\circ$	0,5
" " " $\delta=70^\circ$	0,36

Что касается величин K_\perp^e и $K_\#^e$, то для всех значений δ , имеем

$$K_\perp^e \approx 0,05 \delta$$

$$K_\#^e \approx 0,006 \delta$$

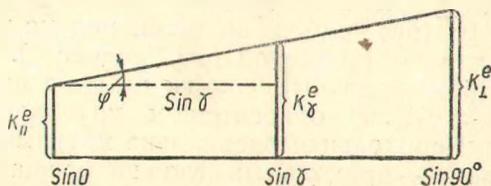


Рис. 2

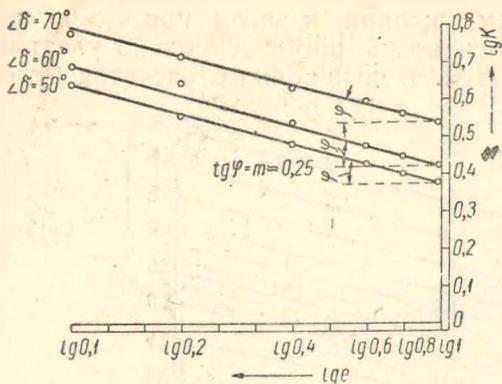


Рис. 3

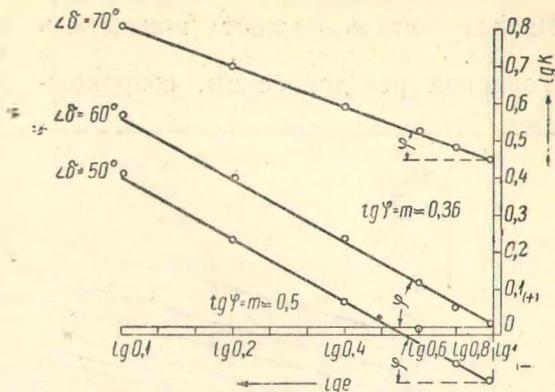


Рис. 4

В отношении K'_{\parallel} имеем:
 при $\delta = 50 - 60^\circ$ $K'_{\parallel} = 0,015 \delta$
 при $\delta = 70^\circ$ $K'_{\parallel} \approx 2,7$

Таким образом, для всех углов:

$$K_{\perp}^e = \frac{0,05 \delta}{e^{0,25}} \quad (4)$$

$$K_{\#}^e = \frac{0,006 \delta}{e^{0,5}} \quad (5)$$

Для $\delta = 50 - 60^\circ$

$$K_{\parallel}^e = \frac{0,015 \delta}{e^{0,5}}, \quad (6)$$

для $\delta = 70^\circ$

$$K_{\parallel}^e = \frac{2,7}{e^{0,36}}$$

Обработка лабораторией АЛТИ результатов опытов по строганию и пиленю ЦНИИМОД (т. Масленков, Каюкова) и АЛТИ (т. Смирнов) показала, что соотношение $K^e = \frac{K'}{e^m}$ справедливо и при резании под углом γ к направлению волокон.

Так, опыты АЛТИ (т. Смирнов) по продольной распиловке круглыми пилами дают при $\angle \delta = 60^\circ$ и $\angle \gamma = 60^\circ$ при v от 45 до 75 м/сек.

для сосны:

$$K_{\gamma}^e = \text{от } \frac{2,95}{e^{0,34}} \text{ до } \frac{3,2}{e^{0,34}};$$

для лиственницы:

$$K_{\gamma}^e = \text{от } \frac{3,4}{e^{0,34}} \text{ до } \frac{3,6}{e^{0,34}}.$$

Опыты ЦНИИМОД (т. Масленков) по продольной распиловке круглыми пилами дают для сосны для v от 60 до 100 м/сек.

$$K_{\gamma}^e \approx \frac{2,6}{e^{0,47}} \text{ и для дуба } K_{\gamma}^e = \frac{4,45}{e^{0,47}}$$

Аналогичные результаты дают опыты Каюковой над круглыми пилами и Масленкова по строганию.

Следует отметить, что показатель m колеблется от 0,25 до 0,5 в зависимости от $\angle \gamma$ и почти не зависит от породы древесины, ее состояния и скорости резания.

Необходимо также обратить внимание на то, что даже такие сильно различающиеся от древесины материалы, как сталь и чугун, имеют показатели степени m , мало отличающиеся от значений показателей степени m для древесины.

Так, для стали $m = 0,25$, для чугуна $m = 0,35$.

Показатель m характеризует вязкость материала.

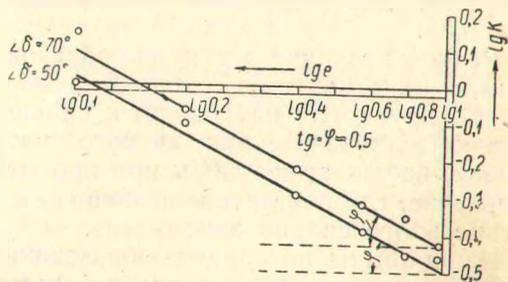


Рис. 5

Вязкая сталь имеет показатель $m = 0,25$.

Торцевой рез древесины, сопровож-

ным уклоном и затем при $\delta > 65^\circ$ интенсивность роста K сильно увеличивается. В дальнейших расчетах будем

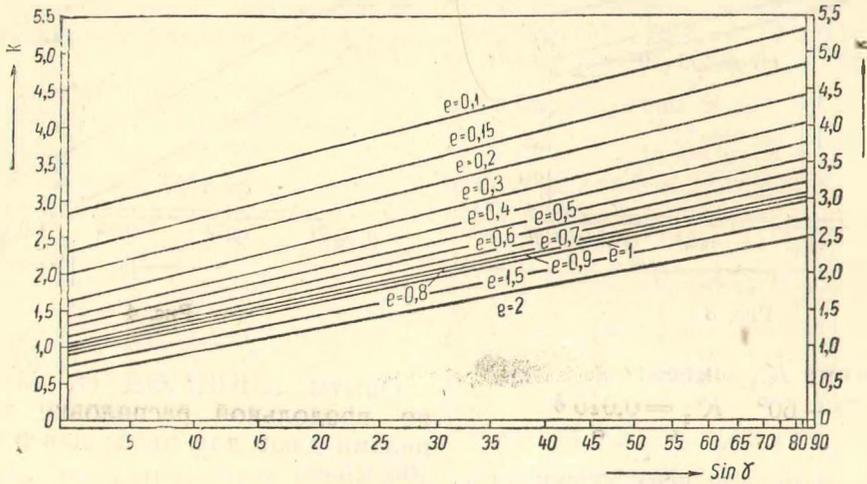


Рис. 6

дающийся пластическими деформациями (вязкость), имеет показатель $m = 0,25$.

Хрупкий чугун имеет показатель $m = 0,35$.

Поперечный рез, при котором стружкообразование подобно таковому при хрупком материале имеет $m = 0,5$.

Продольный рез при δ до 60° $m = 0,5$
 " " " $\delta > 60^\circ$ $m = 0,35$.

Здесь также интересно отметить, что показатели степени β в формуле $\frac{d_0}{D} =$

$= \alpha h^\beta$ при определении ударной твердости древесины имеют согласно опытам проф. А. Х. Певцова следующие значения, не зависящие от породы древесины: для продольных разрезов $\beta = 0,25$, для торцевой поверхности $\beta = 0,35$.

Резкое различие в стружкообразовании с переходом от отщепов (случай реза хрупкого материала) к сильной усадке (случай резания вязкого материала) наблюдается лишь при продольном резе, где показатель степени вследствие этого сильно изменяется.

Наши опыты по стружкообразованию (1936 г.) при $e = 0,5$ и $e = 1$ мм показывают, что до $\angle \delta = 65^\circ$ наблюдается рост K почти по прямой с незначитель-

принимать 2 значения для K_{\parallel}^e при резании сосны:

1) при $\angle \delta \leq 60^\circ$:

$$K_{\parallel}^e = \frac{0,015 \cdot \delta}{e^{0,5}};$$

2) при $\angle \delta > 60^\circ$:

$$K_{\parallel}^e = \frac{0,9}{e^{0,36}} + \frac{0,18 (\delta - 60)}{e^{0,36}} \quad (7)$$

III. Формула для K_{γ}^e в условиях замедленного движения для сосны при $W = 20\%$

На основании формулы $K_{\gamma}^e = K_{\parallel}^e + (K_{\perp}^e - K_{\parallel}^e) \sin \gamma$ и соотношений пункта II для K_{\parallel}^e и K_{\perp}^e получаем:

1) при $\angle \delta \leq 60^\circ$:

$$K_{\gamma}^e = \left[\frac{0,015}{e^{0,5}} + \left(\frac{0,05}{e^{0,25}} - \frac{0,015}{e^{0,5}} \right) \sin \gamma \right] \delta \quad (8)$$

2) при $\delta > 60^\circ$.

$$K_{\gamma}^e = \left[\frac{0,9}{e^{0,36}} + \left(\frac{3}{e^{0,25}} - \frac{0,9}{e^{0,36}} \right) \sin \gamma \right] + \left[\frac{0,18}{e^{0,36}} + \left(\frac{0,05}{e^{0,25}} - \frac{0,18}{e^{0,36}} \right) \sin \gamma \right] (\delta - 60) \quad (9)$$

Практически расчет просто производится графическим методом.

IV. Графический метод расчета K^e_γ

Построение формулы (1) пункта III (рис. 6)

Откладываем по оси абсцисс значения $\sin \gamma$ от 0 до 1. На нормали, соответствующей $\sin 0$, откладываем для e_1, e_2, e_3, \dots и т. д. значения K^e_{\parallel} . При построении графика для значения $\delta = 60$

получаем $K^e_{\parallel} = \frac{0,9}{e^{0,5}}$. По нормали,

соответствующей $\sin 90^\circ = 1$, откладываем для e_1, e_2, \dots и т. д. значения

$$K^e_{\perp} = \frac{0,05 \delta}{e^{0,25}} = \frac{0,05 \cdot 60}{e^{0,25}} = \frac{3}{e^{0,25}}$$

Соединяя прямыми соответствующие

где h — высота пропила в мм, r — радиус пилы в мм, a — подъем стола над центром вала в мм.

Построение формулы (3) пункта III (рис. 7)

Аналогично предыдущему строим график для части формулы:

$$\frac{0,9}{e^{0,36}} + \left(\frac{3}{e^{0,25}} - \frac{0,9}{e^{0,36}} \right) \sin \gamma.$$

Затем строим аналогичный график для прироста K^e_γ на 1° превышения $\angle \delta$ против 60° (рис. 8, стр. 18).

$$\frac{0,18}{e^{0,36}} + \left[\left(\frac{0,05}{e^{0,25}} \right) - \left(\frac{0,18}{e^{0,36}} \right) \right] \sin \gamma.$$

При любом значении $\angle \gamma$ и e берем

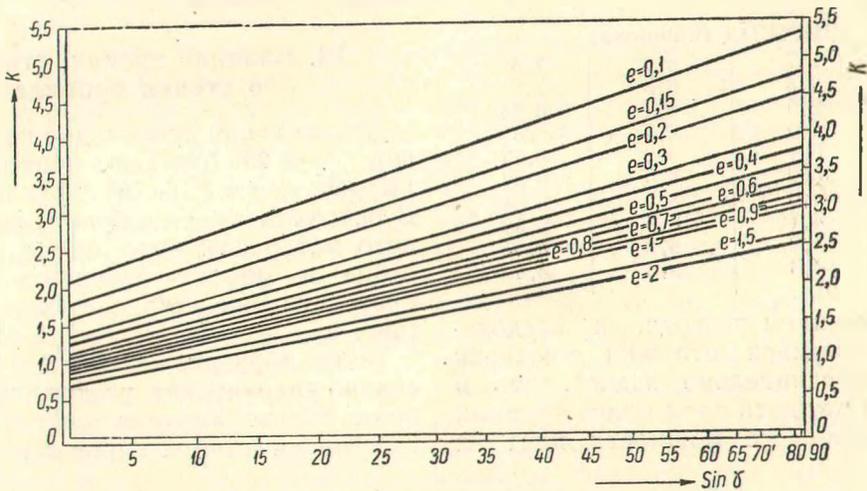


Рис. 7

точки на нормалях при $\sin 0 = 0$ и $\sin 90^\circ = 1$, получаем график для расчета K_γ по e и $\sin \gamma$.

Примечание. $\sin \gamma$ вычисляется по следующим формулам:

Для строгания:

$$\sin \gamma = \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (10)$$

где h — припуск на строжку в мм, D — диаметр окружности реза лезвия в мм;

для круглых пил:

$$\sin \gamma = \frac{57 \cdot h}{r \left(\arcsin \frac{a+h}{r} - \arcsin \frac{a}{r} \right)}, \quad (11)$$

по графику на рис. 7 значения K_1 при $\delta = 60^\circ$, а по графику на рис. 8 значение прироста K_γ на 1° превышения угла резания δ против 60° .

Умножая полученное значение прироста по графику на рис. 8 на $(\delta - 60)$ и прибавляя к значению, найденному по графику на рис. 7, получим полное значение K^e_γ при $\delta > 60^\circ$.

V. Влияние на удельную работу K^e_γ сдвигов у стенок пропила

Все предыдущие данные относились к случаям резания без стенок пропила. Установим в первом приближении закон возрастания K в зависимости от ширины пропила b мм. В основу выводов возьмем опыты М. Мейера по круглым пилам при распиловке ели и

т. Каюковой (ЦНИИМОД) при распиловке сосны.

Обработав опыты М. Мейера и Каюковой, мы получили следующий результат (табл. 2):

Таблица 2

Развод на две стороны в мм	Ширина пропила b в мм	Мощность резания N в квт	Удельная работа K в кгм/см ³
М. Мейер			
2,0	2,7	0,74	12,5
0,6	3,1	0,51	7,2
1,0	3,5	0,44	5,3
1,6	4,1	0,61	5,0
2,4	4,9	0,87	5,0
ЦНИИМОД (Каюкова)			
0,45	2,7	6,4	7,4
0,5	2,8	6,3	7,0
0,55	2,9	6,4	6,84
0,6	3,0	6,5	6,8
0,65	3,1	6,8	6,85
0,45	3,9	8,6	6,88
0,5	4,0	8,5	6,64
0,55	4,1	8,6	6,55
0,6	4,2	8,7	6,47
0,65	4,3	8,8	6,4

С увеличением развода, а следовательно, и размера стружки удельная работа незначительно падает, что и следовало ожидать из-за более крупных опилок. Рост же мощности идет за

счет увеличивающегося объема материала, снимаемого пилой в единицу времени. При практических ширинах пропила 2,8—4 мм можем пренебречь изменением K (макс. погрешность 5%). Непосредственно проведенные нами опыты при $b=4$ мм и при резании брусков без стенок пропила дали следующие результаты: коэффициент роста ϵ , удельной работы, определяемой по графикам на рис. 6, 7, 8, равен $1,1 \div 1,2$; для γ , близких к 90° (рамные пилы), принимаем низший предел для $\gamma = 45 \div 75^\circ$ — высший предел, учитывая рост удельной работы при поперечном резе при изменении угла встречи $\gamma_{\#}$ от 90 до 0° (опыты Брюне).

VI. Влияние трения стружек о стенки пропила

При пилении происходит резание или под $\angle \gamma = 90^\circ$ (рамные, ленточные пилы) или $\angle \gamma = 40 - 70^\circ$ (круглые пилы). В основном имеем случай резания вязкого материала; при самом врезании резца в момент отделения стружки древесина уже уплотняется до 30—40% (рис. 9).

Таким образом, в пазуху зуба входит сильно уплотненная, раздавленная в стороны стенок пропила стружка. Упругий отжим стенок пропила с одной

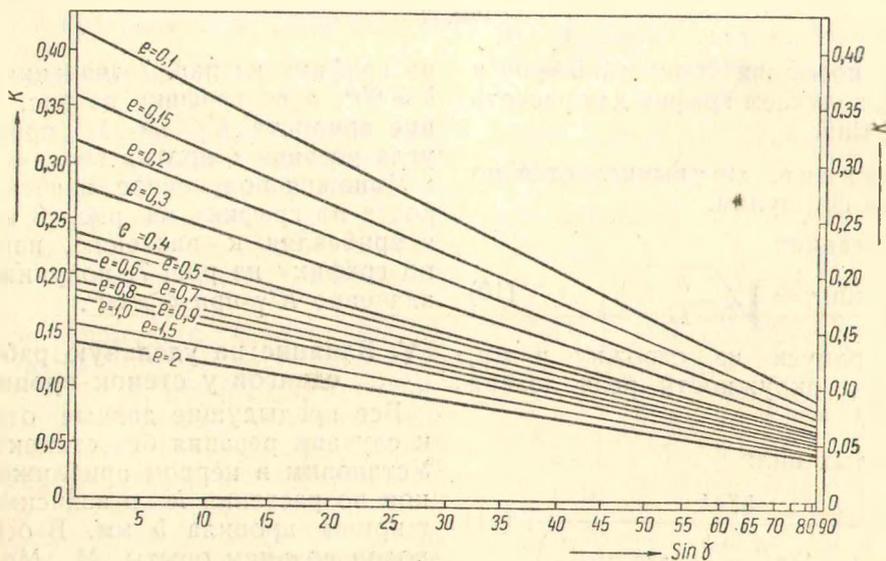


Рис. 8

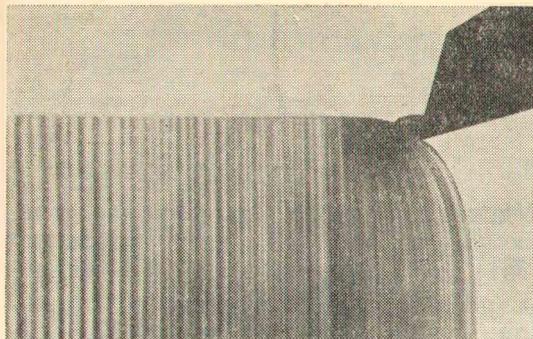


Рис. 9

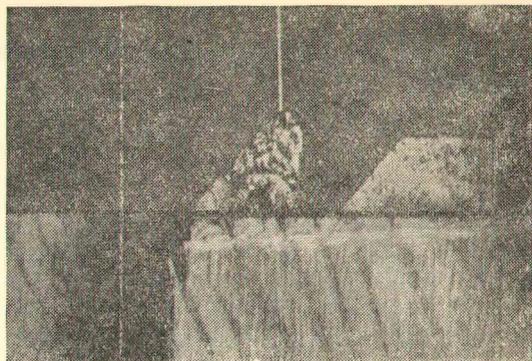


Рис. 10

стороны и раздавшаяся, уплотненная стружка с другой создают взаимодействие (давление) друг на друга, вследствие чего при продвижении резца (зуб пилы) уплотненная стружка прижимается к грудке зуба, не заполняя всего объема пазухи.

На рис. 10 показано положение стружки в пазухе по опытам ЦНИИМОД (М. Н. Орлов), а на рис. 11 дан наш рентгено снимок зубьев пилы, находящихся в пропилах. Затемненная часть снимка показывает заполненную часть пазухи спрессованной стружкой. М. Н. Орлов в своей работе „Процесс размещения и прессования опилок при резании рамными пилами“¹ приводит следующие результаты опытов (табл. 3):

Таблица 3

	Д у б				С о с н а			
	0,5	1,1	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Толщина стружки . .	0,5	1,1	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Длина реза в мм	40	40	40	40	60	60	60	60
Длина стружки	16	16	17	17	16	18	19	19
Кэффци. усадкн	0,4	0,4	0,43	0,43	0,27	0,30	0,32	0,32

Показывая в дальнейшем, что пазуха зуба не заполняется опилками (рис. 10), М. Н. Орлов отмечает, что „в процессе резания опилки могут быть сжаты до объема, в 3—4 раза меньшего плотной древесины, и ни о каком разрыхлении древесины речи быть не может“.

В дальнейшем М. Н. Орлов устанавливает уплотнение опилок в пазухе при выходе зуба из пропила высотой в 180 мм. В среднем этот коэффициент уплотнения получается равным 0,35—0,4.

М. Н. Орлов делает вывод: „процесс уплотнения опилок имеет две стадии: уплотнение стружки при резании и дальнейшее уплотнение последних в пазухе“. Мы не оспариваем принципиально это положение, но, по нашему мнению, близкое совпадение между усадкой элементов стружки в момент среза (0,33—0,4) и уплотнением стружки в пазухе зуба в момент выхода показывает, что основная работа по уплотнению происходит до момента отделения элемента стружки. В дальнейшем при продвижении резца начинается возрастающая работа трения по мере увеличения боковой поверхности входящей в пазуху стружки, производящей давление на стенки пропила.

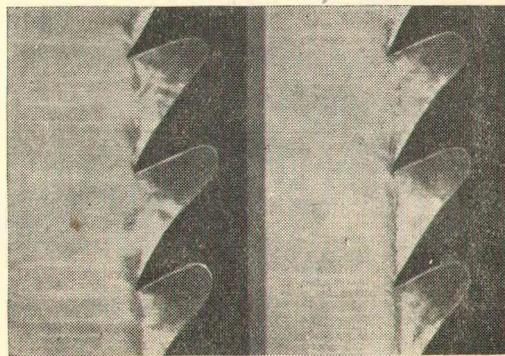


Рис. 11

¹ „Механическая обработка древесины“ № 5 и 6 за 1935 г.

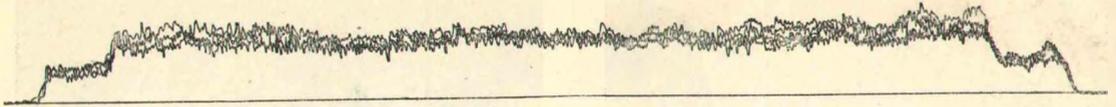


Рис. 12

Работа же по дополнительному пресованию уже уплотненной стружки имеет, повидимому, столь незначительное значение, что в обычных условиях распиловки ею можно пренебречь.

Для выявления удельной работы на трение стружки о стенки пропила кафедра МТД АЛТИ провела многочисленные опыты (доцент Сурадейкин, автор, аспиранты Смирнов, Покоило, Миронова). В основном эти опыты заключались в следующем: 1) производился рез зубьями пилы без погружения пазухи в пропилен и 2) рез зубьями, когда пазухи были погружены в пропилен. В обоих случаях самопишущая динамометрическая установка конструкции доцента Н. Н. Сурадейкина давала соответствующие диаграммы изменения силы резания в процессе распиловки.

На рис. 12 приведена запись этой установки при проходах без погружения пазух в пропилен для 5 опытов, а на рис. 13 для проходов при погружении пазухи в пропилен для 15 опытов.

Удельная работа, выявляемая графиками на рис. 12, дает удельную работу на срезание и деформацию элемента стружки:

$$K_{\gamma}^e = \frac{K_{\gamma}^1}{e^m}$$

Удельная работа, выявляемая графиками на рис. 13, дает удельную работу $K_{\gamma\pi}^e = K_{\gamma}^e + K_{\pi}^e$, где K_{π}^e — удельная работа трения стружки о стенки пропила. Упрощая график (рис. 14), видим, что с начала реза появляется сила P_0 на срезание, которая затем непрерывно растет примерно по закону прямой. Это становится совершенно понятным, если принять во внимание изложенное выше.

Стружка непрерывно входит в пазуху. Пропорционально ее вхождению увеличивается сила давления на стенки пропила, а следовательно, и сила трения.

Обозначая через α кг/мм² интенсивность силы трения, получим (рис. 14):

$$P_0 = K_{\gamma}^e \cdot e \cdot b;$$

$$P_h = K_{\gamma}^e \cdot e \cdot b + \alpha \cdot e \cdot h;$$

$$P_{cp} = \frac{P_0 + P_h}{2} = K_{\gamma}^e \cdot e \cdot b + \frac{\alpha \cdot e \cdot h}{2}.$$

Удельное давление или работа будет:

$$K_{\gamma\pi}^e = \frac{P_{cp}}{e \cdot b} = K_{\gamma}^e + \frac{\alpha \cdot h}{2b}. \quad (12)$$

С учетом влияния влажности можем согласно нашим опытам как первое приближенное принять:

$$\alpha = 0,04 + (W - 10) \cdot 0,0015. \quad (13)$$

VII. Влияние скорости резания v

Распиловка относится к случаю резания вязкого материала.

Опыты АЛТИ (Смирнова), ЦНИИМОД (Каюковой и Масленкова) устанавли-



Рис. 13

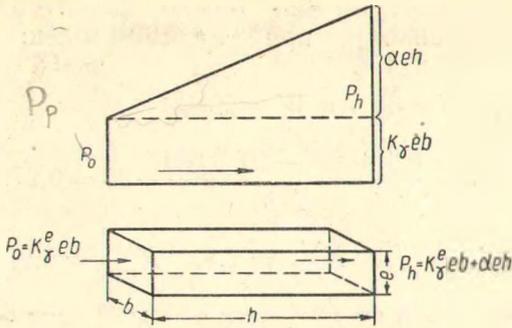


Рис. 14

вают рост удельной работы с ростом скорости резания v . Резание вдоль волокон, строжка при малых углах встречи $\gamma = 5-15^\circ$ относится к случаю резания крупного материала.

Опыты ЦНИИМОД (Манжос, Масленков), Боббе (лаборатория проф. Заксенберга) устанавливают падение удельной работы с ростом скорости резания v .

Постараемся на основе имеющихся экспериментальных материалов найти основные зависимости между удельной работой K_{γ}^e и скоростью резания v .

А. Обработка опытов ЦНИИМОД (Масленков) и АЛТИ (Смирнов) по круглым пилам

На основании данных табл. 4 отмечаем:

- 1) рост K с увеличением v и
- 2) тенденцию уменьшения $\frac{K_{100}}{K_{60}}$ и

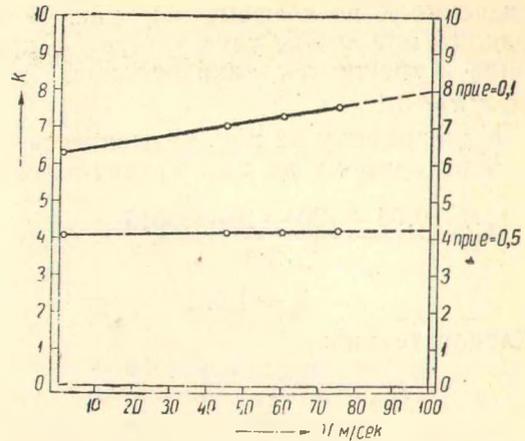


Рис. 15

$\frac{K_{75}}{K_{45}}$ в зависимости от увеличения e .

Возьмем опыты АЛТИ (т. Смирнов) при $\angle \delta = 60^\circ$; $\angle \gamma = 60^\circ$; $v = 45$ м/сек. — 60 м/сек. — 75 м/сек. и $e = 0,1$ и 0,5 мм: при $e = 0,1$ мм:

$$K_{45} = 7; K_{60} = 7,3; K_{75} = 7,6;$$

при $e = 0,5$ мм:

$$K_{45} = 4,15; K_{60} = 4,18; K_{75} = 4,2.$$

Отложим по оси абсцисс $v =$ от 0 до 100 м/сек., а по оси ординат K_{45}, K_{60}, K_{75} для $e = 0,1$ и $e = 0,5$ (рис. 15). Получаем закон изменения K по прямой. Продолжая ее до $v = 0$, получим значение K для условий замедленного движения (почти статика).

Но ведь для этих условий и построен наш график на рис. 6. Проверим

Таблица 4

Толщина стружки e в мм	Опыты Масленкова $\angle \delta = 60^\circ$ и $\angle \gamma = 60^\circ$			Опыты Смирнова $\angle \delta = 60^\circ$; $\angle \gamma = 60^\circ$		
	значение K_{γ}		$\frac{K_{100}}{K_{60}}$	значение K_{γ}		$\frac{K_{75}}{K_{45}}$
	K_{100}	K_{60}		K_{75}	K_{45}	
0,054	10,25	9,25	1,11	9,05	8,05	1,12
0,108	7,55	6,85	1,1	7,35	6,75	1,1
0,147	6,25	5,75	1,09	—	—	—
0,200	5,35	5,05	1,06	5,5	5,25	1,05
0,300	—	—	—	4,7	4,5	1,04
0,500	—	—	—	4,1	4,0	1,03

Примечание. Значение K_{τ} исключено, так как у Смирнова $h = 25$; $W = 20\%$.

У Масленкова $h = 35$; $W = 20\%$.

$K_{\tau} = 0,2$ (Смирнов),

$K_{\tau} = 0,27$ (Масленков).

значение K по графику на рис. 6 и рис. 15 при $v=0$, учтя уширение пропила и трение о стенки пропила.

При $e=0,1$

K по графику на рис. 15 равняется 6,3

K по графику на рис. 6 равняется 5,0.

$$K_{\tau} = \frac{0,04 + (20 - 10) \cdot 0,0015}{2 \cdot 3,5} = 0,2;$$

$$\xi_b = 1,2.$$

Следовательно:

$$K_{\text{гр}} = \frac{6,3 - 0,2}{1,2} = 5,08,$$

что близко совпадает со значением 5 по графику на рис. 6.

При $e=0,5$

K по графику на рис. 15 равняется 4,1

K " " " " 6 " 3,25

$$K_{\text{гр}} = \frac{4,1 - 0,2}{1,2} = 3,25,$$

что совпадает со значением графика на рис. 6.

Следовательно, мы можем написать уравнение:

$$K_v^{0,1} = 5 + v \lg \varphi = 5 + 0,016 v.$$

$$K_v^{0,5} = 3,25 + v \lg \varphi = 3,25 + 0,003 v.$$

Находим соотношение:

$$\frac{K_{100}^{0,1}}{K_0^{0,1}} = \frac{6,6}{5} = 1,32$$

$$\frac{K_{100}^{0,5}}{K_0^{0,5}} = \frac{3,55}{3,25} = 1,09,$$

или на 1 м/сек. изменения скорости резания имеем коэффициент прироста $\xi = 0,0032$ при $e=0,1$ и $\xi = 0,0009$ при $e=0,5$ мм. Полагая логарифмическую зависимость изменения прироста в зависимости от e , получаем:

$$\lg 0,0032 = m \lg 0,1 + \lg C,$$

$$\lg 0,0009 = m \lg 0,5 + \lg C,$$

откуда

$$m = 1; C = 0,00035$$

Следовательно, $\xi = \frac{0,00035}{e}$ при $\gamma = 60^\circ$.

Рассмотрим еще опыты ЦНИИМОД (Масленков) при $v=100$ м/сек. и $\gamma=60$ и 40° .

При $h=35$ мм $W=20\%$,

$$K_{\tau} = \frac{0,4 + (W - 10) 0,0015}{2 \cdot b} \cdot 35 = 0,27;$$

при $e=0,1$ $K_{\gamma=60}^{0,1} = 7,8$, $K_{\gamma=40}^{0,1} = 5,9$;

при $e=0,15$ $K_{\gamma=60}^{0,15} = 6,5$, $K_{\gamma=40}^{0,15} = 4,9$

(данные опытов т. Масленкова).

Сравним эти результаты с данными графика на рис. 6, устранив влияние стенок пропила:

$$K_{\gamma=60}^{0,1} = \frac{7,8 - 0,27}{1,2} = 6,3,$$

что $> K$ на графике = 5;

$$K_{\gamma=40}^{0,1} = \frac{5,9 - 0,27}{1,2} \approx 4,7,$$

что $\approx K$ на графике = 4,5;

$$K_{\gamma=60}^{0,15} = \frac{6,5 - 0,27}{1,2} \approx 5,2,$$

что $> K$ на графике = 4,5;

$$K_{\gamma=40}^{0,15} = \frac{4,9 - 0,27}{1,2} \approx 3,9,$$

что $\approx K$ на графике = 4,0.

Другими словами, при $\gamma=40^\circ$ изменение скорости v почти не влияет на изменение K . При $\gamma=60^\circ$ имеем прирост на 1 м/сек. увеличения скорости

$$\xi = \frac{0,00035}{e}.$$

Полагая пропорциональную зависимость ξ от γ , получаем прирост на 1° угла встречи:

$$\xi \gamma = \frac{0,00035}{e \cdot 20} = \frac{0,0000175}{e}.$$

В результате общий вид расчетной формулы для $K_{\gamma, v}^e$ получит вид: при $\delta \leq 60^\circ$:

$$K_{\gamma, v}^e = (1,1 \div 1,2) \left[1 + \frac{0,0000175 (\gamma - 40)}{e} v \right] \cdot \left[\frac{0,015}{e^{0,5}} (1 - \sin \gamma) + \frac{0,05}{e^{0,25}} \sin \gamma \right] \delta + \frac{0,04 + (W - 10) 0,0015}{2 \cdot b} h, \quad (14)$$

при $\delta > 60^\circ$:

$$K_{\gamma, v}^e = (1,1 \div 1,2) \left\{ \frac{0,9}{e^{0,35}} + \left(\frac{3}{e^{0,25}} - \frac{0,9}{e^{0,36}} \right) \sin \gamma \right\} + \left[\frac{0,18}{e^{0,36}} + \left(\frac{0,05}{e^{0,25}} + \frac{0,18}{e^{0,36}} \right) \cdot \sin \gamma \right] (\delta - 60) \times \left[1 + \frac{0,0000175 (\gamma - 40)}{e} v \right] + \frac{0,04 + (W - 10) 0,0015}{2 \cdot e} \quad (15)$$

Б. Обработка опытов по строганию

При $\gamma < 40^\circ$ с увеличением v удельная работа падает. Взяв опыты ЦНИИМОД при $\gamma = 6^\circ$ и 12° , $v = 34$ м/сек. и 43 м/сек. и при $\delta = 55^\circ$, сравниваем K_{34} и K_{43} с K_0 , т. е. с K по графику на рис. 6, и получаем следующие результаты (табл. 5).

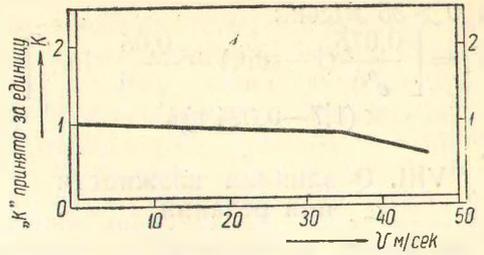


Рис. 16

На основании данных табл. 5 мы приходим к выводу, что $\angle \gamma$ и e почти не влияют на v .

В порядке первого приближения, если принять значение K_0 за единицу, коэффициент падения ξ будет (рис. 16) при $v \leq 35$ м/сек.:

$$\xi = 1 - v \frac{0,14}{35} = 1 - 0,004 v,$$

при $v > 35$ м/сек.

$$\xi = 0,86 - (v - 35) \frac{0,24}{10} = 0,86 - 0,024 (v - 35).$$

Общий вид расчетных формул для K_v^e примет вид: при $v \leq 35$ м/сек.:

$$K_v^e = \left[\frac{0,015}{e^{0,5}} (1 - \sin \gamma) + \frac{0,05}{e^{0,25}} \sin \gamma \right] \times (1 - 0,004 v) \delta, \quad (16)$$

Таблица 5

Толщина стружки e в мм	$v = 34$ м/сек.						$v = 43$ м/сек.					
	$\gamma = 6^\circ$			$\gamma = 12^\circ$			$\gamma = 6^\circ$			$\gamma = 12^\circ$		
	K_0	K_{34}	$\frac{K_0}{K_{34}}$	K_0	K_{34}	$\frac{K_0}{K_{34}}$	K_0	K_{43}	$\frac{K_0}{K_{43}}$	K_0	K_{43}	$\frac{K_0}{K_{43}}$
0,1	—	—	—	—	—	—	3,1	2,0	1,55	3,25	2,0	1,62
0,15	2,6	2,25	1,15	2,75	2,25	1,2	2,6	1,75	1,5	2,75	1,8	1,53
0,2	2,25	2,05	1,12	2,5	2,1	1,18	2,25	1,55	1,5	2,5	1,65	1,52
0,3	1,9	1,6	1,18	2,1	1,75	1,2	1,9	1,25	1,5	2,1	1,3	1,60
0,4	1,7	1,45	1,17	1,9	1,5	1,27	1,7	1,1	1,54	1,8	1,1	1,62
0,5	1,5	1,35	1,11	1,7	1,35	1,26	—	—	—	1,6	1,0	1,6
0,6	—	—	—	1,6	1,23	1,3	—	—	—	1,55	0,94	1,6
0,7	—	—	—	1,45	1,2	1,2	—	—	—	—	—	—
0,8	—	—	—	1,3	1,15	1,13	—	—	—	—	—	—

при $v > 35$ м/сек.:

$$K_e = \left[\frac{0,015}{e^{0,5}} (1 - \sin \gamma) + \frac{0,05}{e^{0,25}} \sin \gamma \right] \times (1,7 - 0,024 v) \delta. \quad (17)$$

VIII. О влиянии влажности при резании

Понижение коэффициентов крепости при увеличении влажности древесины отнюдь не может привести к выводу об обязательном падении удельной работы K с повышением влажности, как обычно принимается в нашей технической литературе. Мэдисонская лаборатория дает следующие зависимости физико-механических свойств древесины от объемного веса при изгибе (табл. 6):

Таблица 6

	В воздушно-сухом состоянии	В естественном состоянии
Временное сопротивление	$1840 \sqrt{G^5}$	$1300 \sqrt{G^5}$
Полная работа деформации	$10,3 G^2$	$13 G^2$

В работах Ж. Петипа приводятся эмпирические формулы для расчета работы A резания при пилении для мягких пород:

$$\text{сухая древесина } A = 51 \sqrt{S},$$

$$\text{сырая древесина } A_1 = 66 \sqrt{S},$$

где S м²/сек. — поверхность пропила, т. е. $A_1 > A$.

М. Мейер, проводя опыты на круглых пилах, также установил рост удельной работы при увеличении влажности.

Иные данные получены Ф. М. Манжос (ЦНИИМОД) при строгании. Им было выявлено падение K на 0,5% с увеличением влажности на 1%. Опыты кафедры МТД АЛТИ проливают некоторый свет на этот вопрос. Доцент Суродейкин подтвердил в своей работе выводы Ж. Петипа и М. Мейера о работе удельной работы K с ростом W .

То же подтверждают опыты аспирантов кафедры МТД АЛТИ т. Смирнова (на круглых пилах) и т. Покотило (на рамных пилах). Картины падения удельной работы K дают опыты аспиранта Рыбалко по строганию. Результаты опытов приведены в табл. 7.

1. Из этих опытов ясно видна тенденция противоположного влияния влажности W при случае вязкого реза (пиление) и хрупкого реза (строгание).

2. Влияние угла γ и толщины стружки не вскрывается этими опытами, так как при сравнении опытов одновременно изменяется и e и $\angle \gamma$.

3. Полагая логарифмическую зависимость между W и ξ_w , получим как первое приближение при значении $\xi_{10} = 1$:

$$\text{для пиления } \xi_w = 0,65 W^{0,2},$$

$$\text{для строгания } \xi_w = \frac{1,86}{W^{0,27}}.$$

Так как наши графики построены при $W = 20$, то, приняв $\xi_{20} = 1$, получим:

$$\text{для пиления } \xi_w \approx 0,55 W^{0,2},$$

$$\text{для строгания } \xi_w \approx \frac{2,24}{W^{0,27}}.$$

Таблица 7

Влажность W в %	Рыбалко—строгание $\gamma = 5^\circ; \delta = 60^\circ$						Смирнов—кругл. пилы $\gamma = 60^\circ; \delta = 60^\circ$		Покотило—рамные пилы $\gamma = 90^\circ; \delta = 75^\circ$			
	$e = 0,1$		$e = 0,2$		$e = 0,3$		$e = 0,08$		$e = 0,5$		$e = 1$	
	K	соотн. ξ_w	K	ξ_w	K	ξ_w	K	ξ_w	K	ξ_w	K	ξ_w
10	4	1	2,8	1	2,1	1	3,1	1,0	3,5	1	2,6	1,0
15	—	—	—	—	—	—	3,6	1,16	3,9	1,12	2,65	1,03
20	3,3	0,83	2,4	0,85	2,0	0,94	3,7	1,19	4,2	1,2	2,7	1,08
35	—	—	—	—	—	—	3,75	1,21	4,7	1,34	2,95	1,2
50	2,6	0,65	1,8	0,65	1,45	0,69	4,0	1,29	4,9	1,4	3,1	1,24

Влияние влажности на удельную работу K можно объяснить следующим образом. При вязком материале величина пластических деформаций (сдвиги) увеличивается в большей мере, чем падают разрушающие напряжения, поэтому полная работа деформации растет. При хрупком материале (где превалируют деформации отрыва) уменьшающиеся разрушающие напряжения влекут за собой уменьшение удельной работы. Мы полагаем, что при прочих равных условиях влияние влажности должно находиться в зависимости от γ , e и δ . Специальная исследовательская работа по этому вопросу входит в программу дальнейших работ кафедры МТД АЛТИ.

IX. Влияние затупления

Экспериментальные данные по затуплению крайне недостаточны, и вопрос этот относится к одним из наиболее сложных. Как и при определении влияния влажности, здесь надо повторить во всем объеме исследование влияния всех факторов при разных стадиях затупления.

В полном объеме эту работу, требующую значительного времени, можно провести только в приспособленной производственной обстановке. Систематизируя в табл. 7 весь экспериментальный материал по коэффициенту затупления a_s , указывающему рост удельной работы K в зависимости от времени работы T , ограничимся лишь некоторыми принципиальными замечаниями.

Данные табл. 8 показывают незначительное различие в коэффициентах затупления a_s , получаемое по различным опытам. Даже по строганию получается совпадение зна-

чений коэффициента затупления a_s , как при пилении. Не останавливаясь на численном значении коэффициентов a_s , мы должны подвергнуть сомнению самый метод расчета повышения мощности $N_t = a_s \cdot N_0$, где N_t — возросшая мощность через T часов работы, а N_0 — начальная мощность при остро отточенном инструменте. Если для строгальных станков этот метод может быть признан как приближенный, то для пил он принципиально неверен.

Мы уже показали, что удельная работа при пилении:

$$K = K_{\gamma}^e + K_{тр}$$

где $K_{тр} = \frac{\alpha \cdot h}{2 \cdot b}$

Понятно, что в то время, как K_{γ}^e — удельная работа на срезание элемента стружки зависит от состояния лезвия, $K_{тр}$ — удельная работа трения стружки о стенки пропила от состояния лезвия не зависит. Если даже говорить о боковых кромках, то и они не могут оказывать существенного влияния на a_s , так как при торцевом и полоторцевом резе сдвиг волокон у стенок пропила забегает вперед от места соприкосновения резца с древесиной. Уплотненная зона отогнутых волокон перед резцом и ниже линии реза свидетельствует о сдвигах волокон древесины без участия „перерезания“ ее боковыми кромками (см. наши опыты „Стружкообразование“).

Понятно, что при умножении на a_s всего значения $K = K_{\gamma}^e + K_{тр}$ мы допускаем ошибку, так как увеличиваем пропорционально оба слагаемых K_{γ}^e и $K_{тр}$. Наш корректив в этом вопросе заклю-

Таблица 8

Период работы в часах	Пиление мягких пород			Строгание твердых пород
	Фишер	Фойт	Орлов (ЦНИИМОД)	Манжос (ЦНИИМОД)
0	1	1	1	1
1	1,14	1,18	1,03	1,2
1,5	1,21	—	—	1,26
2	1,27	1,33	1,18	1,31
3	1,39	1,42	1,46	1,41
4	1,5	—	—	1,5
5	1,6	—	—	1,57
6	1,69	—	—	1,63

чается в изменении пропорционально a_s лишь слагаемого K_γ^e , т. е.

$$K_0^e = a_s \cdot K_\gamma^e + K_{\text{тр}}.$$

Например $K_\gamma^e = 4$; $h = 400$ мм; $b = 3$ мм;

$$a_s = 1,4, \text{ тогда при } K_{\text{тр}} = \frac{0,04 \times 400}{2 \times 3} = 2,67$$

получаем:

$$K_0^e = 4 + 2,67 = 6,67, \\ K_s^e = 1,4 \times 4 + 2,67 = 8,27 \\ \text{вместо } 6,67 \times 1,4 = 9,34.$$

Аспирантом кафедры МТД АЛТИ т. Лапиным были произведены следующие опыты. При распиловке бруса на лесозаводе № 3 в Архангельске через определенные промежутки времени снималось последовательно по одной пиле, участвовавших в распиловке от начала упряга. Из этих пил вырезались зубья

и на динамометрической установке лаборатории резания АЛТИ определялась удельная работа K^e и α .

В результате этих опытов выяснилось, что α не зависит от затупления a_s . На основании опытов мы получили следующие данные:

$$\begin{array}{cccccccc} T_{\text{час}} = 0 & 0,5 & 1,0 & 1,5 & 2,0 & 2,5 & 3,0 & 3,5 \\ a_s = 1 & 1,03 & 1,07 & 1,15 & 1,22 & 1,34 & 1,47 & 1,60. \end{array}$$

При сопоставлении выведенных нами средних эмпирических зависимостей с данными опытов (СибЛТИ—проф. Золотарев; АЛТИ—автор; доц. Сурадейкин, аспиранты Смирнов, Лапин, Рыбалко, Покатило; ЦНИИМОД—Орлов, Манжос, Каюкова, Масленков; лаборатория проф. Заксенберга, Брюне, Боббе, М. Мейер, Буэс) обнаружилось расхождение в 5—15%, что подтверждает возможность пользоваться приведенными формулами для практических целей.

РАСЧЕТ ВЫХОДОВ ШПОНА И ФАНЕРЫ

Доц. Г. С. КОНЧЕВСКИЙ

(Архангельский лесотехнический институт им. Куйбышева)

Борьба за уменьшение отходов в производстве фанеры должна начинаться с правильного построения баланса выходов фанеры и шпона. Расход сырья на кубический метр обрезной фанеры, по данным отраслевой конференции фанерной промышленности (март 1936 г.), колеблется от 1,89 м³ (Уфимский завод) при сырой клейке до 2,85 м³ (Витебский завод) — сырая и сухая клейка¹.

Установленный конференцией средний расход сырья на один кубометр фанеры (удельный расход) составляет 2,203 м³, т. е. меньше принятого по плану 1936 г. среднего для всех заводов расхода 2,22 м³.

Для уменьшения удельного расхода сырья конференция рекомендовала: 1) долуцивание карандашей, 2) сшивку и ребросклейку шпона, 3) уменьшение диаметра кулачков и 4) тщательный учет сырья.

Задача настоящей статьи — показать методику построения баланса выходов шпона и фанеры с учетом всех факторов,

влияющих на величину удельного расхода сырья.

Ниже даются формулы, пользуясь которыми можно построить баланс для следующих трех вариантов изготовления фанеры-переклейки (при сырой и сухой клейке):

1-й вариант — в клейку идет только форматный шпон, а деловые куски шпона не используются;

2-й вариант — деловые куски используются частично и

3-й вариант — деловые куски полностью используются на клейку фанеры.

Совершенно очевидно, что удельный расход сырья во всех трех вариантах будет различным в зависимости от способа клейки, а именно: наименьшим — при сырой клейке и наибольшим — при сухой.

Базой для построения баланса выходов служат: размеры и строение фанеры (длина, ширина, толщина фанеры, конструкция листа) и спецификация сырья (порода, средневзвешенные размеры чу-

¹ По отчетным данным за 1935 г.