

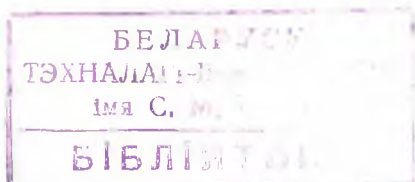
С 54.98  
С - 37

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. С. М. Кирова

На правах рукописи  
Аспирант Симонов М. Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОРКИ  
ДРЕВЕСИНЫ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ,  
ВЛИЯЮЩИХ НА РАВНОМЕРНУЮ  
РАБОТУ ФРЕЗ**

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук



г. Минск  
1963

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. С. М. Кирова

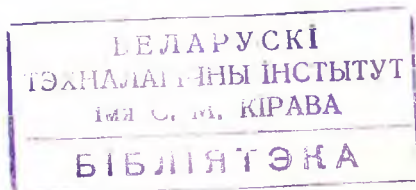
На правах рукописи  
· Аспирант Симонов М. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ОКОРКИ ДРЕВЕСИНЫ  
ФРЕЗЕРОВАНИЕМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА  
РАВНОМЕРНУЮ РАБОТУ ФРЕЗ

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук  
ОСИПОВ А. И.

г. Минск  
1963



1742/ар.

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИМЭ) и Крестецком леспромхозе Новгородской обл.

---

Бумага 60×92/16  
Тир. 200

Подписано к печати 7/III-63 г.  
печ. л. 1,2

Л-29394

Зак. 23

---

Типография ЦНИМЭ

## ВВЕДЕНИЕ

Директивами XXII съезда КПСС намечена грандиозная программа строительства коммунистического общества в нашей стране. В борьбе за высокую коммунистическую производительность труда советский народ должен опираться на могучую науку и технику.

Контрольными цифрами развития народного хозяйства СССР по семилетнему плану предусмотрено увеличение объема вывозки и переработки древесины к 1965 году до 378 миллионов кубометров. Достижение этих показателей будет осуществляться, в основном, за счет комплексной механизации и автоматизации производства, как решающих факторов роста производительности труда.

До настоящего времени окорка древесины представляет собой одну из наиболее трудоемких операций первичной обработки леса. По статистическим данным только в системе лесной промышленности на окорке и разделке леса занято около 12 000 рабочих. Фактическая выработка на этих операциях составляет 4,8 м<sup>3</sup> на чел.-день, в том числе 80% общих трудозатрат относятся к окорке древесины.

Внедрение в промышленность окорочных станков с тупыми короснимателями значительно облегчило положение с окоркой свежесрубленной и сплавной древесины. Однако окорка мороженой, подсушенной древесины хвойных и лиственных пород до сегодняшнего дня остается нерешенной проблемой.

Несмотря на ряд конструктивных достоинств, кулачковые машины, в силу принципиальных возможностей, не способны во всех случаях дать требуемого качества окорки. Использование бассейнов и других способов подготовки древесины к окорке приводит к значительному удорожанию окорочных работ.

Для окорки подсушенной и мороженой древесины хвойных и лиственных пород наиболее подходящими являются станки фрезерного типа. Эти станки хорошо вписываются в поточные линии, успешно окоряют древесину любых физико-механических свойств, а также бревна с большой кривизной и диаметром. Кроме того, фрезерные станки могут производить частичную окорку бревен с целью сушки.

Создание двух взаимно дополняющих типов усовершенствованных станков кулачковых и фрезерных могло бы полностью удовлетворить нужды лесной и деревообрабатывающей промышленности в окорке древесины и сократить до минимума существующую разнотипность средств механизации окорочных работ.

В настоящее время фрезерные станки продолжают выпускаться и использоваться во многих странах мира.

Наиболее известные из них: «Харрикен Челенджер», «Астин» (США), «Фульгум», «Барк-Ласс», «Эднелл» (Швеция); «Вейко» (Финляндия); «Вильке», «АО-19» (СССР) и др.

Недостаточное внимание, которое уделяется в настоящее время фрезерным станкам, объясняется тем, что наряду с указанными преимуществами, они имеют следующие основные недостатки:

а) копирующие органы, от которых зависит величина потерь древесины в стружку, несовершенны;

б) геометрические параметры окоряющего органа нуждаются в конструктивной доработке.

Чтобы свести до минимума отходы древесины в стружку, необходимо установить те физико-механические зависимости между корой и древесиной, которые могут быть положены в основу при конструировании копирующих органов.

От конструктивного оформления режущего органа зависит не только расход мощности. Геометрические параметры фрез в значительной мере влияют на величину возмущающих сил вибрации, которые приводят к преждевременному износу рабочих органов станка и дают кинематические неровности, ухудшающие качество обрабатываемой поверхности.

Конструктивное улучшение окорочных станков невозможно без тщательных теоретических и экспериментальных исследований. К сожалению, процесс окорки на станках фрезерного типа почти никем не изучался.

Учитывая вышеизложенное, теоретические и экспериментальные исследования в данной работе были распределены на два раздела:

1. Определение основных физико-механических свойств материала обработки, имеющих связь с органами копирования, в том числе: зависимости толщины коры от диаметра ствола, коэффициентов резания коры и древесины, объемного веса коры, влияния пониженных температур на сопротивление резанию.

2. Изучение влияния основных геометрических и технологических параметров процесса фрезерования на удельную работу резания и возмущающие силы вибрации фрез, в том числе: диаметра фрезы, числа зубцов, угла наклона режущей кромки зуба, глубины фрезерования, скорости подачи.

## Глава I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В теоретической части рассматривается влияние отдельных конструктивных параметров фрез на величину действующих усилий резания при окорке древесины.

Процесс открытого фрезерования, имеющий место при окорке древесины, характерен тем, что зуб за один оборот фрезы находится в резании относительно малое время. Остальную часть времени он проходит вхолостую, не производя работы. В этом случае среднее усилие резания  $P_c$  не совпадает с величиной фактического усилия  $P_\phi$ , передающегося на фрезу в момент ее непосредственного контакта с древесиной.

При встречном фрезеровании зуб фрезы начинает резание с минимальной толщины стружки и по мере его продвижения поперечное сечение стружки увеличивается, достигая максимального значения перед выходом зуба из контакта. Соответственно изменяется и усилие резания. Максимальное усилие резания  $P_{max}$  соответствует наибольшей толщине стружки. Эта неравномерность процесса резания при фрезеровании проявляется в серии ударов, передающихся на вращающиеся части станка. Периодические нагрузки определяют собой частоту и величину возмущающих сил вибрации станка, от которых зависит долговечность работы деталей станка и чистота обработки готовой продукции.

На величину возмущающих сил влияют в первую очередь конструктивные элементы режущего органа. Увеличение угла контакта фрезы  $\phi$  с материалом обработки сглаживает усилия резания, распределяя их по времени. Процесс фрезерования становится более равномерным, когда до выхода из контакта одного зуба в работу вступает очередная. Соотношение параметров фрезерования в этом случае определяется предлагаемой автором формулой

$$\frac{\pi D}{z(\sqrt{hD} + b \cdot \operatorname{tg} \omega)} < 1, \quad (1)$$

где:

$D$  — диаметр фрезы в мм;

$z$  — число зубцов;

$\omega$  — угол наклона режущих кромок зуба;

$b$  — ширина фрезерования в мм;

$h$  — глубина фрезерования в мм.

Однако надлежащая равномерность работы фрез может быть только в том случае, если в любой промежуток времени срезается постоянный объем стружки. Это условие соответствует равенству

$$\frac{b \cdot z \cdot \operatorname{tg} \omega}{\pi D} = 1. \quad (2)$$



Расчет элементов станка на прочность производится по фактическим усилиям резания. Для определения фактических усилий резания при фрезеровании косозубыми фрезами автором предлагается следующая расчетная формула:

$$P_{\phi} = \frac{P_c}{m'} = \frac{K \cdot b \cdot c \cdot h}{\sqrt{hD} + b \cdot \operatorname{tg} \omega}, \quad (3)$$

где

$m'$  — число одновременно режущих зубцов, для случая  $m' \leq 1$ ;

$P_c$  — усредненное усилие резания на длине дуги  $\pi D$  в кг;

$K$  — удельное сопротивление резанию в кг/мм<sup>2</sup>;

$c$  — подача на зуб в мм.

При расчете лезвия зубцов фрезы на прочность необходимо учитывать максимальные усилия резания, возникающие при срезании наибольшей толщины стружки.

Эти усилия могут быть определены по рекомендуемой автором формуле

$$P_{max} = \frac{K \cdot D \cdot c}{2 \cdot \sin \omega} \left[ \cos(\varphi_1 - \frac{b}{D} \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} \omega) - \cos \varphi_1 \right], \quad (4)$$

где

$\varphi_1 = \arccos \left( 1 - \frac{2h}{D} \right)$  — угол выхода передней кромки  
косоугольного зуба из реза;

$\rho = 57^\circ$  — радиан.

В том случае, если  $\operatorname{tg} \omega \geq \frac{\sqrt{hD}}{b}$ ,

тогда

$$P_{max} = \frac{K \cdot h \cdot c}{\sin \omega}. \quad (5)$$

В последующих разделах теоретической части данной работы дается анализ предшествующих исследований и теоретические предпосылки влияния на усилия  $P_{\phi}$ ,  $P_{max}$  и удельную работу резания  $K$  отдельных факторов, которые поставлены автором на экспериментальное исследование, в том числе: диаметра фрезы, числа зубцов, угла наклона режущих кромок зуба, глубины фрезерования и скорости подачи.

## Глава II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для изучения процесса фрезерования коры и древесины была создана экспериментальная установка, состоящая из следующих основных узлов:

а) каретки с образцом древесины, движущейся возвратно-поступательно;

- б) фрезерной головки, установленной неподвижно;  
 в) станка с электроприводом, на котором монтировались эти устройства.

Регулировка глубины фрезерования осуществлялась специальными устройствами. Регистрация исследуемых переменных факторов при окорке древесины производилась с помощью фотоэлектрических датчиков и осциллографа МПО-2. Вследствие незначительной инерционности фотоэлектрической системы датчиков, установленных непосредственно на валу фрезы, удалось зарегистрировать крутящие моменты, действующие на каждый зубец фрезы  $P_{\phi}$ . Контроль за числом оборотов фрезы осуществлялся индуктивным датчиком, за скоростью подачи — контактным датчиком. Для отметки времени использовались электрочасы МЧ-62.

На экспериментальные исследования поступали образцы свежесрубленной мороженой и оттаявшей древесины с корой. Средние показатели физико-механических свойств коры и древесины приведены в таблице 1.

Таблица 1

№№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Древесная порода			
			сосна	ель	береза	осина
			величина показателя			
1.	Объемный вес коры (при $W=15\%$ )	г/см <sup>3</sup>	0,42	0,47	0,77	0,54
2.	Влажность коры (абс.)	%	37	65	84	104
3.	Объемный вес древесины (при $W=15\%$ )	г/см <sup>3</sup>	0,60	0,47	0,59	0,48
4.	Влажность древесины (абс.)	%	131	81	82	117
5.	Радиальная статич. твердость древесины	гмм/мм <sup>2</sup>	285	199	318	226

Основные факторы, действующие при фрезеровании коры и древесины, были разделены на постоянные и переменные. Постоянными факторами для всех опытов были: ширина фрезерования  $b = 40$  мм, число оборотов вала фрезы  $n = 6000$  об/мин., мощность двигателя фрезы  $N = 10$  квт., угол резания  $\beta = 60^\circ$ , задний угол  $\alpha = 15^\circ$ , угол поднутрения  $\delta = 5^\circ$ .

К зависимым переменным факторам отнесены: удельная работа резания, среднее и фактическое усилия резания. Переменные независимые факторы для каждой серии опытов представлены в таблице 2.



Таблица 2

Серия опытов	Исслед. фактор	№ опыта	Независимые переменные факторы						Порода	
			D, мм	z	ω°	U, м/сек	h, мм			
							кора	древесина		
I	D	1	60	3	0	0,42	10	2,5	Осина	
		2	80	3	0	0,42	10	2,5		
		3	100	3	0	0,42	10	2,5		
		4	120	3	0	0,42	10	2,5		
II	z	5	80	2	0	0,42	10	2,5	Осина	
		6	80	3	0	0,42	10	2,5		
		7	80	4	0	0,42	10	2,5		
		8	80	6	0	0,42	10	2,5		
III	ω	9	80	3	0	0,42	5	2,5	Осина	
		10	80	3	15	0,42		2,5		
		11	80	3	25	0,42		10		2,5
		12	80	3	45	0,42		15		2,5
IV	h	13	80	3	0	0,42	2,5	2,5	Осина Береза Сосна Ель	
		14	80	3	0	0,42	5,0	—		
		15	80	3	0	0,42	7,5	—		
		16	80	3	0	0,42	10	—		
V	U	17	80	3	0	0,23	10	2,5	Осина	
		18	80	3	0	0,25	10	2,5		
		19	80	3	0	0,42	10	2,5		
		20	80	3	0	0,50	10	2,5		
		21	80	3	0	0,66	10	2,5		

Удельная работа резания вычислялась по формуле

$$K = 6,28 \cdot \frac{M}{b \cdot h \cdot \Delta},$$

где

$M$  — крутящий момент фрезы в кгм;

$\Delta$  — подача на оборот фрезы в см;

$b, h$  — ширина и глубина фрезерования в см.

Полученные вариационные ряды чисел обрабатывались методом математической статистики. В каждом опыте проводилось 8—12 наблюдений. При выполнении данной работы всего проведено 1908 наблюдений.

### Глава III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с принятой методикой экспериментальные исследования были распределены на два раздела. Краткое изложение результатов экспериментальной проработки отдельных вопросов приведено в следующих разделах.

# Раздел I. Некоторые физические и механические свойства коры основных древесных пород

## Толщина коры

На основании проведенных нами 732 замеров установлено, что толщина коры  $h_k$  у лиственных пород, березы и осины, находится в пропорциональной зависимости от величины диаметра  $d_\sigma$  ствола. Наблюдения показали, что нет существенной разницы, где делаются эти замеры, у комля или средней части дерева, так как зависимость остается одинаковой.

В функции  $h_k = f(d_\sigma)$  для коры ели имеется небольшое отличие от места расположения ее на стволе дерева. Однако эти погрешности не превышают 10%. Обработав данные наблюдений, получены следующие эмпирические уравнения, выражающие зависимость  $h_k$  от  $d_\sigma$ :

для березы  $h_k = 0,055 d_\sigma^2 + 0,03 d_\sigma + 3,2$  (мм);

для осины  $h_k = 0,004 d_\sigma^2 + 0,05 d_\sigma + 3,7$  « ;

для ели  $h_k = 0,002 d_\sigma^2 + 0,025 d_\sigma + 2,7$  « ,

где  $d_\sigma$  — диаметр ствола в см.

Однако у сосны зависимость  $h_k = f(d_\sigma)$  для комлевой и средней части хлыста резко отличается (см. рис. 1). Эти зависимости могут быть выражены следующими уравнениями:

для сосны (комель)  $h_k = 0,0105 d_\sigma^2 - 0,15 d_\sigma + 2,0$  (мм);

« (середина)  $h_k = 0,003 d_\sigma^2 + 0,01 d_\sigma + 1,1$  « .

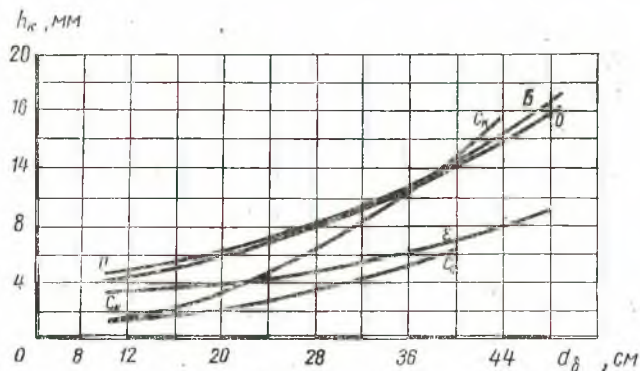


Рис. 1. Зависимость толщины коры от диаметра ствола:

Сс — сосна (середина хлыста); Ск — сосна (комель); Е — ель; Б — береза; О — осина.

Полученные данные не расходятся с выводами Харитонова, Крюндера, Тюрина и других исследователей.

Для получения чистой окорки бревен глубина фрезерования  $h$  должна быть несколько больше средней толщины

коры, так как колебания отдельных вариантов от среднего арифметического значения  $h_k$  достигают значительных размеров.

Путем обработки опытных данных получены следующие зависимости глубины фрезерования от толщины коры:

для осины  $h = 1,7 h_k$ ; для сосны ( $\kappa$ )  $h = 1,6 h_k$ ;  
 для березы  $h = 1,45 h_k$ ; « (ср)  $h = 1,5 h_k$ ,  
 для ели  $h = 1,7 h_k$ ;

### Объемный вес и влажность коры

Определение объемного веса производилось стереометрическим способом, для чего был изготовлен специальный прибор, позволяющий брать образцы коры равновеликих размеров. Контрольные замеры производились волюменометром. Средние арифметические данные объемного веса и влажности коры четырех древесных пород в свежесрубленном состоянии представлены в таблице 3.

Таблица 3

№ п/п	Порода	Комель		Середина хлыста	
		объемный вес коры в $г/см^3$	влажность коры в % (абс.)	объемный вес коры в $г/см^3$	влажность коры в % (абс.)
1.	Сосна	0,47	42,5	0,86	143,0
2.	Ель	0,66	54,5	0,74	80
3.	Береза	0,83	79,5	0,90	71,4
4.	Осина	0,75	106	0,88	95

Коэффициент изменчивости объемного веса коры  $v = \pm 9,0\%$ , влажности коры  $v = \pm 12\%$ . Объемный вес коры определялся без разделения на корку и луб.

Как показали опыты, кора лиственных пород на свежесрубленных деревьях имеет значительный объемный вес, достигающий  $0,90 г/см^3$ . Наиболее малый объемный вес имеет сосна у комлевой части, не превышающий  $0,47 г/см^3$ .

Для всех пород объемный вес коры в средней части хлыста более высокий, чем в комлевой. Это объясняется тем, что на комлевой части дерева имеется более толстый слой пробковой части, который по весу легче луба.

Анализируя опытные данные, установлено, что величина объемного веса в определенной зависимости отражает и механическую прочность коры. Полученные данные отличаются от данных Прикот Н. Г., который объемный вес коры определял при влажности образцов  $9-13\%$  (абс.).

## Механические свойства коры

Как показали исследования, удельные сопротивления резанию коры в 3—4 раза ниже соответствующих сопротивлений резанию древесины. Зависимость удельных сопротивлений резанию коры  $K$  от толщины стружки  $e$  представлена на рис. 2 и выражается следующими уравнениями:

$$\text{коры сосны } K = 0,025 + \frac{0,18}{e} \quad \text{кг/мм}^2;$$

$$\text{« ели } K = 0,140 + \frac{0,175}{e} \quad \text{»}$$

$$\text{« березы } K = 0,09 + \frac{0,173}{e} \quad \text{»}$$

$$\text{« осины } K = 0,18 + \frac{0,176}{e} \quad \text{»}$$

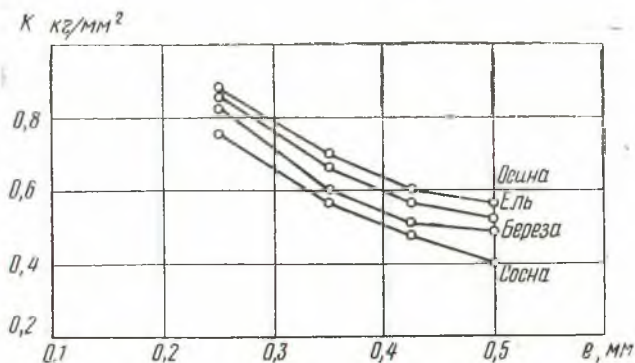


Рис. 2. Удельные сопротивления резанию коры в зависимости от толщины стружки.

По данным предшествующих исследований (Харитонова В. В., Житкова А. В. и др.) силы сцепления коры с древесиной при низких температурах увеличиваются до пределов, граничащих с силами сцепления между волокнами древесины.

Нашими исследованиями установлено, что удельное сопротивление резанию коры, замороженной при температуре от  $-8$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ , возрастает в  $1,45 \div 1,6$  раза, в то время как сопротивление резанию замороженной древесины увеличивается в  $1,14 \div 1,27$  раза.

Абсолютная величина коэффициентов резания замороженной коры в два раза меньше коэффициентов резания древесины аналогичного состояния.

Зависимость  $K'$  от  $e$  мороженой коры представлена на рис. 3 и выражается следующими эмпирическими уравнениями:

$$\begin{aligned} \text{коры сосны } K' &= \frac{0,28}{e} + 0,03 \text{ кг/мм}^2; \\ \text{« ели } K' &= \frac{0,26}{e} + 0,3 \text{ «} \\ \text{« березы } K' &= \frac{0,28}{e} + 0,12 \text{ «} \\ \text{« осины } K' &= \frac{0,27}{e} + 0,18 \text{ «} \end{aligned}$$

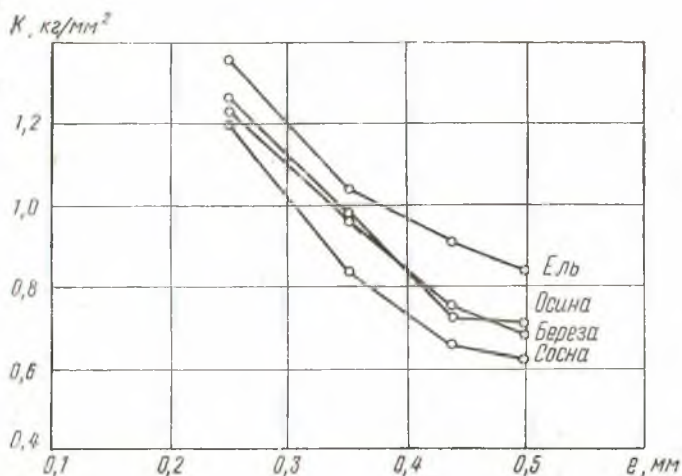


Рис. 3. Удельные сопротивления резанию мороженой коры в зависимости от толщины стружки.

В таблице 4 дано соотношение удельных сопротивлений резанию коры и древесины при  $e = 0,25$  мм.

Таблица 4

№ п/п	Материал обработки	$K$ кг/мм <sup>2</sup>	$K'$ кг/мм <sup>2</sup>	$\frac{K'}{K}$	Влажность в % (абс.)
1.	Кора сосны	0,75	1,19	1,6	37
2.	Кора ели	0,85	1,35	1,6	65
3.	Кора березы	0,80	1,24	1,45	84
4.	Кора осины	0,86	1,27	1,5	104
5.	Древесина сосны	2,35	2,82	1,20	113
6.	Древесина ели	2,27	2,74	1,20	81
7.	Древесина березы	2,45	2,78	1,14	82
8.	Древесина осины	2,10	2,70	1,27	117

Сравнивая эмпирические уравнения зависимости  $K$  от  $e$ , можно сделать вывод, что замораживание коры приводит к увеличению работы резания задней грани резцов, в то вре-



мя как работа передней грани, затрачиваемая на деформацию стружки, изменяется незначительно.

Сопоставляя различные способы копирования, а также учитывая влияние температурных и технологических факторов на удельное сопротивление резанию, было установлено, что наименьшие отходы древесины в стружку, при чистой окорке бревен на фрезерных станках, возможно обеспечить в том случае, если принцип копирования основан на разности физико-механических свойств коры и древесины.

## Раздел 2. Некоторые параметры процесса фрезерования

### Диаметр фрезы

Произведенный автором теоретический анализ дает основание полагать, что с изменением диаметра фрезы удельная работа резания является функцией толщины стружки, угла встречи и скорости резания, т. е.  $K = f(D) = f(e, \psi, v)$ .

При продольном фрезеровании с увеличением  $D$  первый аргумент функции увеличивает, а два других уменьшают удельную работу резания.

Суммарное влияние этих факторов на удельную работу резания установлено экспериментальным путем.

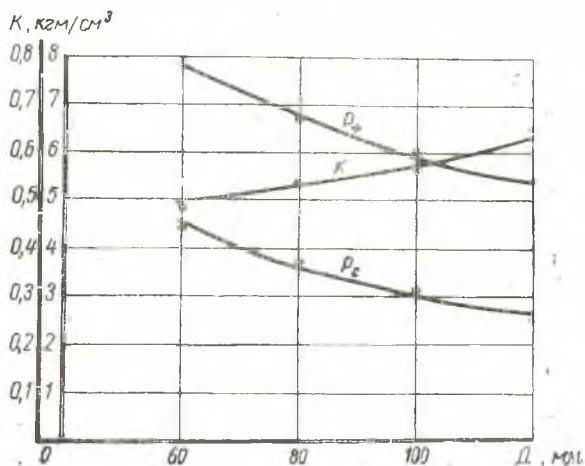


Рис. 4. Усилия и удельная работа резания коры в зависимости от диаметра фрезы.

Экспериментальные данные показывают (см. рис. 4), что с увеличением диаметра фрезы изменяются следующие показатели:

- средние и фактические усилия резания уменьшаются;
- удельная работа резания, следовательно, расход энер-



гии на фрезерование коры и древесины возрастает, особенно при обработке коры;

в) увеличивается вибрация системы фреза-вал в связи с увеличением дисбалансных сил.

В связи с этим увеличение диаметра фрезы может быть оправдано только при достаточной жесткости станка-инструмента — детали. В переносных фрезерных инструментах целесообразно стремиться к возможно меньшим диаметрам фрез. Путем обработки экспериментальных данных по методу проф. Бершадского А. Л. нами установлено, что при изменении диаметра фрезы удельная работа резания коры возрастает более интенсивно, чем удельная работа резания древесины. Это объясняется тем, что угол встречи  $\psi$  и скорость  $v$  при резании коры заметного влияния не оказывают. Удельная работа резания коры является, в основном, функцией толщины стружки, эмпирическая связь между которыми выражается следующим уравнением:

$$K = 0,18 + \frac{0,18}{e} \cdot \text{кгм/см}^3, \text{ где } e = f(D).$$

#### Количество зубцов фрезы

При сохранении постоянства скорости резания  $v$  и скорости подачи  $U$  увеличение количества зубцов фрезы приводит к уменьшению возмущающих сил резания  $P_{\phi}$ ,  $P_{\text{max}}$  и улучшению качества обрабатываемой поверхности.

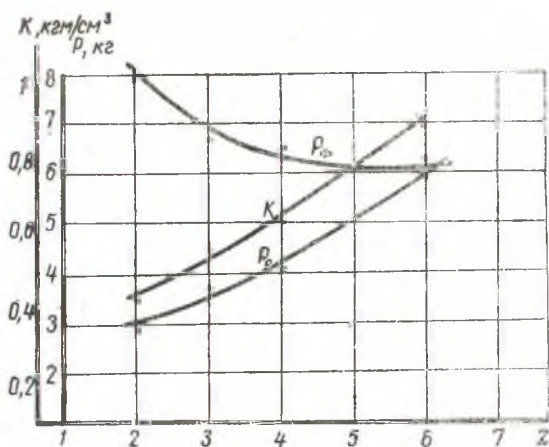


Рис. 5. Усилия и удельная работа резания коры в зависимости от количества зубцов фрезы.

По экспериментальным данным величина удельной работы резания с увеличением числа зубцов фрезы возрастает (см. рис. 5). Возрастание удельной работы резания объ-

ясняется тем, что при срезании одного и того же объема стружки, например, двумя или шестью зубцами за один оборот фрезы работа сил по передней и задней граням резцов будет различна. Силы трения  $N''f$  и деформации древесины  $N''$  задними гранями резцов увеличиваются пропорционально числу резцов и не зависят от толщины срезаемой стружки. В то же время нормальные силы и силы трения  $N'$ , действующие по передним граням резцов, возрастают только с увеличением толщины срезаемой стружки. Следовательно, при постоянной скорости подачи удельная работа резания при отделении объема древесины одной посылки  $\Delta$  фрезами с различным числом зубцов равна:

$$K = K_1 + \frac{z \cdot D^{0,5}}{\Delta \cdot h^{0,5}} \cdot K_2,$$

где  $K_1, K_2$  — условные напряжения, действующие (соответственно) на передние и задние грани резцов.

Экспериментальным путем была установлена величина удельной работы резания при разном числе зубцов фрезы, а с помощью вышеприведенного уравнения определена величина условных напряжений  $K_1$  и  $K_2$ . Эмпирическая зависимость удельной работы резания от количества зубцов фрезы, при постоянстве прочих данных ( $D, h, \Delta$ ), может быть выражена следующими уравнениями:

при фрезеровании коры осины

$$K = 0,23 + 0,17 \frac{z \cdot D^{0,5}}{\Delta \cdot h^{0,5}} \text{ кгм/см}^3;$$

при фрезеровании древесины осины

$$K = 0,92 + 0,31 \frac{z \cdot D^{0,5}}{\Delta \cdot h^{0,5}} \text{ кгм/см}^3.$$

Обработав по методу проф. Бершадского экспериментальные данные, были найдены те же значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ . Анализируя соотношения действующих сил и удельной работы резания, выявленных экспериментально, было установлено, что оптимальное число зубцов для данных условий фрезерования равно 3—4 шт.

#### *Угол наклона режущей кромки зуба*

Угол наклона  $\omega$  зубца увеличивает путь врезания и угол контакта фрезы с древесиной, чем придает плавность процессу фрезерования.

Экспериментальные данные показали, что с увеличением угла наклона до  $20\frac{1}{2}$ — $25^\circ$  возмущающие силы вибрации снижаются, а удельная работа резания коры (осины) возрастает незначительно (см. рис. 6 для случая  $h = 10$  мм). Дальнейшее увеличение угла  $\omega$  приводит к быстрому возрастанию удельной работы резания и при  $\omega = 45^\circ$  она почти в два раза выше своего минимального значения.

Удельная работа резания древесины с увеличением угла до  $20^\circ$  имеет тенденцию к снижению и значительно возрастает при увеличении угла  $\omega$  свыше  $30^\circ$ .

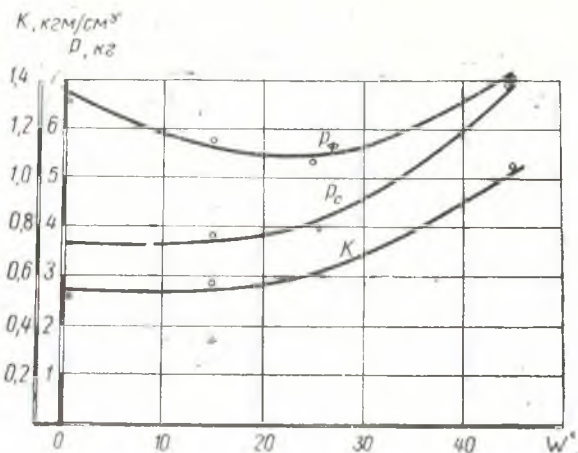


Рис. 6. Усилия и удельная работа резания коры в зависимости от угла наклона режущей кромки зуба.

Снижение удельной работы резания древесины объясняется тем, что при скосе лезвия зуба продольно-торцевое резание, при котором удельная работа  $K$  определялась формулой (по проф. Бершадскому)  $K = K_{\parallel} + (K_{\perp} - K_{\parallel}) \cdot \sin^2 \psi$ , изменилось на продольно-торцово-поперечное, характеризуемое формулой (по проф. Брюне)

$$K = K_{\perp} \cdot \cos^2 \psi + K_{\parallel} \cdot \cos^2 \psi_2 + K_{\#} \cdot \cos^2 \psi_3.$$

Естественно, что при резании в этом направлении древесина имеет меньшее сопротивление резанию, так как

$$K_{\#} < K_{\parallel} < K_{\perp}.$$

Изменился в сторону уменьшения и угол схода стружки, т. к.

$$\beta = \arctg (\operatorname{tg} \beta_1 \cdot \cos \omega).$$

При возрастании угла  $\omega$  свыше  $30^\circ$  резко изменяется направление выхода стружки, увеличивается работа сил трения на гранях и режущих кромках зуба. Сила, действующая в осевом направлении, возрастает пропорционально тангенсу угла  $\omega$ .

Все это значительно увеличивает удельную работу резания. При фрезеровании коры и древесины оптимальным значением угла наклона режущих кромок зуба следует считать  $\omega = 20 \frac{1}{2} - 25^\circ$ .

Опыты по фрезерованию коры проведены при различной толщине стружки. Обработав экспериментальные данные по методу проф. Бершадского, устанавливаем эмпирическое уравнение связи между удельной работой резания коры, толщиной стружки и углом  $\omega$

$$K = 0,175 - 0,007 \omega + 0,0004 \omega^2 + \frac{0,18}{e} \text{ кгм/см}^3.$$

При расчетах усилий резания для случая продольного фрезерования можно пользоваться поправочными коэффициентами к удельной работе резания (см. таблицу 5).

Таблица 5

№№ п/п	Материал обработки	Угол				
		0°	15°	25°	35°	45°
1.	Кора	1,0	1,04	1,15	1,45	1,95
2.	Древесина	1,0	0,97	1,07	1,28	1,65

### Глубина фрезерования и скорость подачи

Для установления закономерности изменения усилий и удельной работы резания коры на разных режимах фрезерования проведены опыты при переменных  $h$  и  $s$ . С увеличением глубины фрезерования и скорости подачи, возмущающие силы увеличиваются в меньшей степени, чем возрастают  $h$  и  $s$ . Это обстоятельство объясняется тем, что удельная работа резания при этом в значительной мере снижается. Изменение  $P$  и  $K$  в зависимости от  $s$  (для случая  $h = 10$  мм, кора осины) представлено на рис. 7. При постоянстве конструктивных параметров фрезы толщина стружки является не только

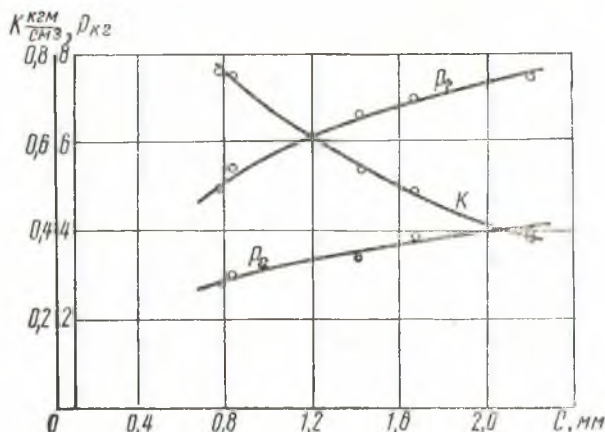
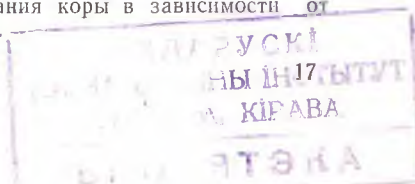


Рис. 7. Усилия и удельная работа резания коры в зависимости от подачи на зуб.



1742/ар.



функцией подачи на зуб  $s$ , но и функцией глубины фрезерования  $h$ . Однако при фрезеровании древесины, как анизотропного материала, с увеличением  $h$  увеличивается и угол встречи  $\psi$ , что приводит к росту удельной работы резания. Обработывая по методу проф. Бершадского А. Л. опытные данные по фрезерованию коры, находим общее уравнение связи удельной работы резания с толщиной стружки  $e$  для случаев  $e = f(h)$  и  $e = f(s)$

$$K = 0,19 + \frac{0,18}{e} \text{ кгм/см}^3.$$

Это обстоятельство дает основания утверждать, что угол встречи  $\psi$  на удельную работу резания коры не влияет, так как кора более однородна по своей структуре, чем древесина. Зависимость  $K$  от  $e$  при фрезеровании древесины выражает эмпирической формулой

$$K = 0,96 + \frac{0,32}{e} \text{ кгм/см}^3, \text{ где } e = f(s).$$

#### Глава IV. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗ С ПОМОЩЬЮ НОМОГРАММ

Для упрощения расчета фрез составлены номограммы, по которым, пользуясь экспериментальными данными, можно выбрать конструктивные параметры фрез, обеспечивающих равномерную работу и оптимальный расход энергии на фрезерование.

В данной главе приведены расчетные формулы и таблицы, на основании которых построены номограммы. Выбор параметров фрез с помощью номограммы 1 производится следующим

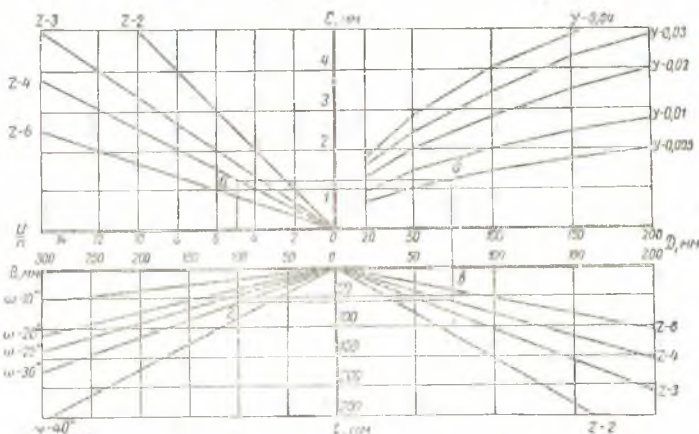


Рис. 8. Номограмма 1. Графический расчет геометрических параметров фрез.

шим образом (см. рис. 8). На оси абсцисс (I квадрант) устанавливаем необходимые кинематические соотношения  $\frac{U}{n}$  и, восстанавливая перпендикуляр, задаемся оптимальным числом зубцов. Через точку пересечения «а» проводим горизонталь до кривой (II квадрант), обеспечивающей необходимую чистоту обработки. Во втором квадранте, выбрав нужную глубину кинематической волны и опустив перпендикуляр из точки «б» на ось абсцисс, получаем необходимый диаметр фрезы. Продолжая перпендикуляр до пересечения с прямой (III квадрант), обозначающей выбранное число зубцов, и из точки пересечения «в» проводим горизонтальную прямую до встречи с радиальной прямой, точка «г» (IV квадрант). Выбрав оптимальное значение угла  $\omega$ , и, восстанавливая перпендикуляр к оси абсцисс, находим длину фрезы. Если конструктивно задается длина фрезы, весь расчет производится в обратном порядке.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Фрезерные окорочные станки целесообразно использовать на окорке древесины в тех случаях, когда станки, работающие на принципе трения, не эффективны (окорка лиственных пород, мороженой и подсушенной древесины, частичная окорка с целью сушки).

2. Толщина коры на бревнах хвойных и лиственных пород, подлежащих окорке, зависит от величины соответствующего диаметра бревна и древесной породы. На толщину коры сосны влияет также и место расположения ее по высоте дерева. Эти зависимости выражаются уравнениями параболы второго порядка.

Для обеспечения чистой окорки бревен различных диаметров установлены оптимальные значения припусков фрезерования.

3. Удельное сопротивление резанию коры свежесрубленной древесины зависит от толщины срезаемой стружки. Для определения  $K$  в зависимости от  $e$  для каждой древесной породы (сосны, ели, березы, осины) даны эмпирические уравнения связи.

4. Удельное сопротивление резанию коры при замораживании бревен до температуры  $-8-10^{\circ}\text{C}$  увеличивается в  $1,45-1,6$  раза, древесины — в  $1,14-1,27$  раза.

5. Объемный вес коры свежесрубленных деревьев зависит от древесной породы и месторасположения коры на стволе. Численные значения объемного веса находятся в пределах от  $0,47$  до  $0,86 \text{ г/см}^3$  у хвойных и от  $0,75$  до  $0,90 \text{ г/см}^3$  у лиственных пород.



6. Окорочные станки фрезерного типа дадут наименьшие отходы древесины в стружку в том случае, если принцип работы копирующих органов будет основан на разности физико-механических свойств коры и древесины.

7. Для расчета возмущающих сил вибрации режущего органа при фрезеровании коры и древесины косозубыми фрезами даны аналитические формулы:

$$P_{\phi} = \frac{Kbch}{\sqrt{hD + b \cdot \lg \omega}}; \quad P_{max} = \frac{K D c}{2 \cdot \sin \omega} \cdot \left[ \cos(\varphi_1 - \frac{b}{D} \cdot \rho \cdot \lg \omega) - \cos \varphi_1 \right].$$

8. Экспериментальным путем выявлена закономерность изменения возмущающих сил вибрации и удельной работы резания при изменении следующих параметров:

диаметра фрезы, числа зубцов, угла наклона режущих кромок зуба, глубины фрезерования и скорости подачи.

Для конкретных условий при окорке древесины фрезерованием определены оптимальные значения конструктивных параметров фрез и даны эмпирические уравнения для расчета удельной работы резания.

9. Для практического использования результатов экспериментальных и аналитических исследований составлены номограммы, позволяющие конструкторам графически выбирать оптимальные значения параметров фрез, обеспечивающих равномерную работу фрезерования.

10. Данные исследований дают исходный материал для проектирования фрезерных окорочных станков.

\* \*  
\*

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Исследование процесса окорки древесины фрезерованием и определение оптимальных параметров окорочных фрез. Научная информация, серия лесоинженерная, БТИ, г. Минск, 1961 г.

2. Некоторые физические и механические свойства коры основных древесных пород. Известия высших учебных заведений «Лесной журнал» № 5, 1962 г.

3. Расчет и экспериментальные исследования параметров фрез для окорки древесины. Труды ЦНИИМЭ, выпуск 41. Москва, Химки.

