

674.053

П-80

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР  
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМ. С. М. КИРОВА

---

На правах рукописи

Г. Ф. Прокофьев

674.053:621.933.6(043.3)

**Исследование  
влияния  
некоторых факторов  
на устойчивость  
рамных пил**

05.421 „Машины, оборудование  
и технология лесопильных  
и деревообрабатывающих  
производств“

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск  
1970

6674.053.621.933.6

П-80

Министерство высшего и среднего специального образования  
Б С С Р

Белорусский технологический институт имени С.М.Кирова

На правах рукописи

Г. Ф. ПРОКОФЬЕВ



2628 ар.

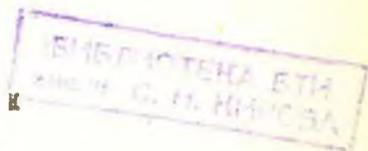
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА  
УСТОЙЧИВОСТЬ РАМНЫХ ПИЛ

Специальность 05.421

" Машины, оборудование и технологии лесопильных  
и деревообрабатывающих производств "

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

М И Н С К  
1970



Работа выполнена в лаборатории резания древесины и инструментов Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины.

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ**

кандидат технических наук, доцент **М.С.БЕРНШТЕЙН**

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:**

доктор технических наук, профессор **Н.А.МОРОЗОВ**

кандидат технических наук, доцент **А.П.КЛУБКОВ**

Ведущее предприятие - Головное конструкторское бюро по проектированию деревообрабатывающего оборудования (ГКБД, г.Вологда)

Автореферат разослан " " . . . . . 1970 г.

Защита состоится " " . . . . . 1970 г.

на заседании Ученого Совета Белорусского технологического института имени С.М.Кирова (город Минск, ул.Свердлова, 13а).

Просим Ваши отзывы по автореферату **ОБЯЗАТЕЛЬНО** в **ДВУХ** **ЭКЗЕМПЛЯРАХ** с **ЗАВЕРЕННЫМИ ПОДПИСЯМИ** направлять в адрес Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

кандидат технических наук, доцент

**И.М.ПЛЕХОВ**

Подавляющее количество пиломатериалов вырабатывается на лесопильных рамах. От устойчивости рамных пил в значительной степени зависит качество выпускаемой пилопродукции.

При форсировании посылок силы резания могут достичь критических значений, что приведет к потере устойчивости плоской формы изгиба полотна рамной пилы. При потере устойчивости пиление становится невозможным. Поэтому знание критических сил в зависимости от различных факторов имеет большое значение.

Исследования критических сил рамных пил посвящены работы М.С.Бернштейна и С.М.Хасдана. Однако в этих работах не учитывалось влияние на величину критической силы места приложения пиковых нагрузок, по которым необходимо вести расчет рамных пил на устойчивость, действие вертикальной составляющей силы резания, степень вальцевания и распределенность нагрузки. Некоторые из этих факторов оказывают существенное влияние на величину критической силы. Поэтому знание их повысит точность расчета рамных пил на устойчивость. Кроме этого, не имеется формул для расчета величин оптимального эксцентриситета линии натяжения и величин критического эксцентриситета.

Если силы меньше критических, то пила находится в устойчивом состоянии. Малым боковым силам соответствует малые упругие деформации. Однако отклонения могут превысить допускаемую величину, что приведет к браку из-за неточности распиловки. Величина боковых отклонений пилы в процессе пиления, и следовательно точность распиловки, зависит от технологической жесткости пилы. Это отмечается в работах А.Л.Бершадского. Технологическая жесткость пилы зависит от сил резания, а следовательно, и от всех технологических факторов, сопровождающих процесс резания. Для определения технологической жесткости при различных режимах пиления необходимо знать величину критической силы и изначальной жесткости.

Под начальной жесткостью понимается жесткость режущей кромки рамной пилы при отсутствии сил резания. Вопросы начальной жесткости занимались М.А.Дешевой, М.П.Ор -

лов, П.И.Лапин, А.Э.Грубе, И.В.Соболев, Г.В.Дерягин и др. Однако отсутствуют простые зависимости, позволяющие рассчитывать начальную жесткость в зависимости от различных факторов. Рекомендации по оптимальной величине относительного эксцентриситета линии натяжения и данные по влиянию размеров сечения на начальную жесткость носят противоречивый характер.

Цель настоящей работы восполнить пробел в изучении указанных выше вопросов. Это позволит дать аналитические методы расчета посылок, обеспечивающих распиловку с заданной точностью, или при заданных режимах пиления рекомендовать размеры пил, силу натяжения, эксцентриситет линии натяжения, обеспечивающие эти режимы.

Содержание диссертации изложено в 8 главах на 146 листах машинописного текста и 45 рис.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ РАМНЫХ ПИЛ

При теоретическом исследовании был рассмотрен случай, когда полотно рамной пилы толщиной  $S$ , шириной  $B$  и со свободной длиной  $L$ , центрально растянато силой  $M$ . Требовалось определить, какую боковую силу нужно приложить к режущей кромке полотна рамной пилы на расстоянии  $C$  от верхних прокладок, чтобы отклонить ее на 1 мм в точке приложения нагрузки, то есть требовалось определить начальную жесткость в любой точке в пределах свободной длины.

Для решения этой задачи взяли элемент полотна пилы шириной  $dx$ , отстоящий от продольной оси симметрии на расстоянии  $X$ . Деформация полотна пилы под действием боковой силы  $Q$  рассматривалась как совместная деформация изгиба и кручения. Элемент  $dx$  под действием силы  $Q$  отклонится на величину

$$y = \frac{y_n - y_z}{B} X + \frac{y_n + y_z}{2}, \quad (I)$$

где  $y_n$  - отклонение передней кромки пилы;  
 $y_z$  - отклонение задней кромки пилы.

Элементарную боковую силу, приходящуюся на элемент  $dx$ , обозначим  $dq$ . Из строительной механики известно, что прогиб этой полоски, растянутой силой  $\frac{N}{b} dx$ , можно выразить уравнением

$$y = \frac{2dq\ell^3}{\pi^2 dx} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \frac{n\pi c}{\ell}}{n^2 \left( \frac{n^2 \pi^2 E S^3}{12} + \frac{N \ell^2}{b} \right)} \quad (2)$$

Откуда

$$dq = \frac{\pi^2 y}{2\ell^3} \frac{dx}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \frac{n\pi c}{\ell}}{n^2 \left( \frac{n^2 \pi^2 E S^3}{12} + \frac{N \ell^2}{b} \right)}} \quad (3)$$

Подставляя в уравнение (3) значение  $y$  и интегрируя элементарные боковые силы по всей ширине полотна пилы получаем полную боковую силу  $Q$ . Интегрируя элементарные моменты  $dqx$  по ширине полотна пилы получим момент  $\frac{Qb}{2}$ . Решая совместно полученные уравнения, имеем

$$y_3 = -\frac{y_n}{2} \quad (4)$$

Подставляя в одно из уравнений значение  $y_3$ , и делая соответствующие преобразования и обозначив  $\frac{c}{\ell} = t$  получим уравнение жесткости

$$j = \frac{\pi^2 N}{8\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\frac{\sin^2 n\pi t}{n^2}} \quad (5)$$

При получении уравнения (5) величиной  $n^2 \pi^2 E J_n$  пренебрегли ввиду ее малости по сравнению с  $N \ell^2$ . Ошибка не превышает 4%. При  $t = 0,5$  с достаточной точностью

$$j = 1,04 \frac{N}{l} \quad (6)$$

С учетом начальных напряжений, полученных пилой в процессе изготовления и вальцевания

$$j = j_0 + 1,04 \frac{N}{l} \quad (7)$$

где  $j_0$  - собственная жесткость рамной пилы.

Для проверки полученной формулы и определения собственной жесткости  $j_0$  в зависимости от размеров сечения пилы были проведены опыты.

Подобрали три партии пил, по 5 пил в каждой партии. В первой партии находились пилы толщиной 2 мм; во второй - 2,2 мм и в третьей - 2,5 мм. Свободную длину у пил приняли постоянной, равной 1000 мм, так как обратно пропорциональная зависимость между начальной жесткостью и свободной длиной пилы полученная опытным и теоретическим путем различными авторами, сомнений не вызывает. Влияние ширины пилы на начальную жесткость опытами не установлено. Поэтому ширина пил была принята также постоянной, равной 160 мм. Сила натяжения принималась равной 1000, 2000, 3000 и 4000 кг. Зависимость  $j = f(N)$  определялась на экспериментальной установке.

Опыты проводились сначала с невальцованными пилами, а затем с вальцованными до оптимальной величины согласно технологическому режиму РПИ Q2-05 "Вальцевание рамных пил".

Полученные значения собственной жесткости приведены в табл. I.

Таблица I

Состояние пил	Среднее значение собственной жесткости $j_0$ , при толщине $\delta$ , мм		
	2,0	2,2	2,5
Невальцованная	1,3	1,6	2,2
Вальцованная	1,6	2,0	2,7

Коэффициенты перед  $N$  отличались от коэффициента 1,04, полученного теоретическим путем, не более чем на 6%.

Задачей следующей серии опытов было определить влияние на начальную жесткость эксцентриситета линии натяжения. В экспериментах использовались пилы толщиной 2,2 мм, шириной 160 мм при силах натяжения 1000, 2000 и 3000 кг. Свободная длина составляла 1000 мм. Величина относительного эксцентриситета линии натяжения принималась от 0 до 0,25 через 0,05. В результате обработки опытных данных получено уравнение

$$j^{\varepsilon^0} = j^{0,0} (1 + 1,5\varepsilon), \quad (8)$$

где  $\varepsilon$  - относительный эксцентриситет линии натяжения рамных пил.

Таким образом, начальная жесткость рамной пилы, натянутой силой  $N$  с эксцентриситетом  $\varepsilon$  при свободной длине  $l$ , может быть определена по формуле

$$j = \frac{(j_{0,1000} + 1,04 N)(1 + 1,5\varepsilon)}{l}. \quad (9)$$

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ ИЗГИБА ПОЛОТНА РАМНОЙ ПИЛЫ

### Теоретическое исследование

В процессе пиления на рамную пилу в плоскости наибольшей ее жесткости действуют силы резания. При достижении критических значений эти силы могут вызвать потерю устойчивости плоской формы изгиба полотна рамной пилы. Расчет на устойчивость ведется по пиковым значениям сил резания, которые в несколько раз превышают средние значения. Пиковые нагрузки возникают в конце рабочего хода и в начале холостого и действуют на пилу на расстоянии  $S$  от нижних прокладок. Силы резания можно разложить на вертикальную и горизонтальную составляющие. Вертикальная составляющая действует вдоль режущей кромки, горизонтальная представляет собой распределенную

нагрузку, действующую по высоте пропила. Направление ее перпендикулярно режущей кромке. Кроме этого при расчете необходимо учесть влияние на устойчивость напряжений от вальцевания. Место действия пиковых сил характеризуется величиной  $\frac{l}{2}$ , равной отношению расстояния  $C$  к свободной длине  $l$ . В специальной литературе нет решения подобной задачи.

В настоящей работе задача решалась энергетическим методом. Момент потери устойчивости характеризуется равенством

$$\Delta U = W, \quad (10)$$

где  $\Delta U$  - энергия деформации изгиба и кручения;

$W$  - работа внешних сил.

Энергия деформации изгиба и кручения определялась по формуле

$$\Delta U = \frac{1}{2} \int_0^l B \left( \frac{d^2 U}{dz^2} \right)^2 dz + \frac{1}{2} \int_0^l C \left( \frac{d\beta}{dz} \right)^2 dz \quad (11)$$

Работу внешних сил в срединной поверхности находим по формуле Брайана

$$W = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{l}{2}} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \left[ N_z \left( \frac{\partial \omega}{\partial z} \right)^2 + 2N_{zx} \frac{\partial \omega}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial x} \right] dz dx, \quad (12)$$

где  $N_z$  - нормальные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна, действующие в направлении  $Z$ ;

$N_{zx}$  - касательные усилия, приходящиеся на единицу ширины полотна пилы;

$\omega$  - прогиб пилы в плоскости наименьшей жесткости.

Прогибы полотна пилы были заданы уравнением

$$\omega = (U + \beta x) \sin \frac{\pi z}{l} \quad (13)$$

Были определены нормальные и касательные усилия и решены уравнения (11) и (12). Приравнявая эти уравнения, решали

полученное выражение относительно горизонтальной составляющей силы резания Р. Формулу для определения критической силы получили из условия минимума силы Р. Анализ полученного выражения показал, что влияние вертикальной составляющей силы резания на устойчивость при реальных значениях других параметров незначительно и ею можно пренебречь. Формула для расчета критических сил имеет вид

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 N}{\ell} \frac{\left( y^2 + 2\delta \varepsilon y + \frac{\delta^2}{12} + \frac{C}{N} + \frac{4}{15} \frac{\Delta \delta}{N} J_y \right)}{m y + \delta}, \quad (14)$$

где

$$y = \left( \sqrt{1 + \frac{C m^2}{N \delta^2} + \frac{m^2}{12} + \frac{4 \Delta \delta J_y m^2}{15 N \delta^2} - 2 \varepsilon m - 1} \right) \frac{\delta}{m};$$

$$m = \pi^2 t (1-t) - \frac{\pi^2 h^2}{12 \ell^2} + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\ell}{\pi h} \cos 2\alpha t \cdot \sin \frac{\pi h}{\ell} \right);$$

$C = G J_k$  - крутильная жесткость;

$N$  - сила натяжения;

$\varepsilon$  - относительный эксцентриситет линии натяжения;

$\Delta \delta$  - разность напряжений от вальцевания на кромках пилы и в средней части;

$\delta$  - ширина полотна пилы;

$h$  - высота пропила;

$\ell$  - свободная длина пилы.

Исследуя уравнение (14) на экстремум, получаем формулу для определения оптимального эксцентриситета

$$\varepsilon_{оп} = \frac{m}{24} \left( 1 + \frac{12C}{N \delta^2} + \frac{32}{5} \frac{\Delta \delta}{N \delta^2} J_y \right). \quad (15)$$

Вальцевание пил не оказывает существенного влияния на величину оптимального относительного эксцентриситета, поэтому с достаточной точностью для расчета можно воспользоваться формулой

$$\varepsilon_{оп} = \frac{m}{24} \left( 1 + \frac{12C}{N \delta^2} \right). \quad (16)$$

Значения величины  $m$  в зависимости от высоты пропила приведены в табл.2.

Таблица 2

$h,$ мм	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520
$m$	1,32	1,48	1,62	1,74	1,83	1,94	2,01	2,08	2,16	2,21	2,25

При оптимальном эксцентриситете формула (14) принимает вид

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 N}{l} \left( \frac{b}{12} + \frac{c}{N\delta} + \frac{4}{15} \frac{\Delta b}{N\delta} \right) \mathfrak{E}_y \quad (17)$$

Оптимальный относительный эксцентриситет линии натяжения не должен превышать критической величины, при которой пила теряет устойчивость в статике, т.е.

$$\mathfrak{E}_{кр} = \sqrt{\frac{G s^3}{36N} + \frac{1}{12}} \quad (18)$$

#### Экспериментальные исследования

##### 1. Содержание исследований

При теоретических исследованиях был сделан ряд допущений. Насколько это справедливо, должны были показать эксперименты.

В опытах использовали рамные пилы, изготовленные по общей технологии на Горьковском металлургическом заводе и соответствующие ГОСТ 5524-62. Сталь 9ХФ. Длина пил 1400 мм. Выбор этой длины обусловлен размерами пильной рамки (лесо-пильной рамы типа РД-75) и размерами оснастки для натяжения. Свободная длина (расстояние между прокладками) для всех опытов принята постоянной, равной 1000 мм. В качестве переменных факторов приняты толщина пил, ширина полотна, сила натяжения, эксцентриситет линии натяжения, степень вальцева-

ния и место приложения нагрузки. Было проведено 6 серий опытов.

В первой серии определялось влияние места приложения нагрузки по длине полотна пилы на устойчивость невальцованных рамных пил толщиной 2 мм, с шириной полотна 160 мм. Пилы центрально натягивались силой 2000 кг. Расстояние от нижних прокладок до места приложения нагрузки принималось равным 500, 600, 700, 750 и 800 мм, что соответствовало значениям  $t$  - 0,5; 0,6; 0,7; 0,75; 0,8.

В опытах второй серии изучалось влияние эксцентриситета линии натяжения на устойчивость невальцованных пил толщиной 2 мм, с шириной полотна 160 мм. Величина  $t$  была равна 0,75. Относительный эксцентриситет линии натяжения изменяли от 0 до 0,25 через 0,05. Установка пил с относительным эксцентриситетом  $\varepsilon$  заключалась в смещении пил в захватах на величину абсолютного эксцентриситета  $e$ , которую предварительно определяли по формуле  $e = \varepsilon b$ .

Задачей опытов третьей серии было выявление воздействия силы натяжения на устойчивость рамной пилы толщиной 2 мм, с шириной полотна 160 мм. Пилы центрально натягивались силой 1000, 1500, 2000, 2500 и 3000 кг. Величина  $t$  принималась равной 0,75.

Опыты четвертой серии проводились на пилах толщиной 2,2 мм с шириной полотна 160 мм. Пилы центрально натягивались силой 2000 кг. Величина  $t$  принималась равной 0,75. Исследовалось влияние степени вальцевания на устойчивость пилы. Степень вальцевания определялась по величине световой щели между поверочной линейкой и полотном пилы, изогнутым по окружности с радиусом 2 метра. Принималось 4 степени вальцевания 0; 0,1; 0,2 и 0,3 мм.

В пятой серии исследовалось влияние толщины полотна пилы на устойчивость пил, с шириной полотна 160 мм. Величина  $t$  была равна 0,75. Пилы натягивались центрально силой 2000 кг. В опытах исследовались пилы трех толщин 2 мм; 2,2 мм и 2,5 мм. Так как ГОСТ 5524-62 допускает для рамных пил значительные отклонения по толщине, то отбирались пилы с отклонением по толщине не более 0,05 мм.

В опытах шестой серии изучалось влияние ширины полот-

на на устойчивость невальцованных пил толщиной 2 мм. Величина  $t$  была принята равной 0,75. Пилы центрально натягивались силой 2000 кг. Ширина полотна пилы изменялась (160, 140, 120, 100 и 80 мм) путем стачивания на пилоточном автомате ТчПА-3.

## 2. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис.1) состоит из пильной рамки, механизма натяжения, механизма давления в плоскости наибольшей жесткости, устройства для приложения боковой нагрузки и приспособлений для замера отклонения полотна пилы в боковом направлении. Крутящий момент от исполнительного механизма преобразуется через винтовую пару 8 в силу давления, которая через датчик давления  $D_1$  и нажимную головку 7 передается на переднюю кромку полотна рамной пилы I. Конструкция нажимной головки (рис.2) не препятствует боковому отклонению полотна пилы при выходе из устойчивого равновесия. Для замера величины бокового отклонения режущей кромки полотна рамной пилы устанавливается датчик перемещения  $D_2$ . Передаваемое на пилу усилие одновременно деформирует кольцо датчика  $D_1$  с наклеенными на него тензометрическими датчиками сопротивления  $R_1 - R_2 - R_3$  и  $R_4$  и приводит к разбалансу полумоста  $D_1$ . Сигнал дебаланса поступает на вход усилителя У, вследствие чего через шунт на выходе усилителя потечет ток. На вход "игрек" самопишущего двухкоординатного регистрирующего прибора типа ПДС-021 поступит снятое с шунта напряжение, вследствие чего регистрирующая каретка прибора будет механически перемещаться по оси "игрек". С ростом действующего на пилу усилия пила перемещается как в направлении действия прикладываемого усилия, так и перпендикулярно направлению действия этого усилия. Перемещение пилы в боковом направлении воспринимается индикаторным датчиком перемещения  $D_2$ , преобразуется в электрический сигнал, который через усилитель У поступает на вход "икс" самопишущего прибора. Двумя имеющимися в приборе сервосистемами каретки с пером перемещается в двух взаимноперпендикулярных направлениях и на диаграммной бумаге записывается функциональная зависимость деформации пилы от величины действующего на нее усилия (рис.3), затем

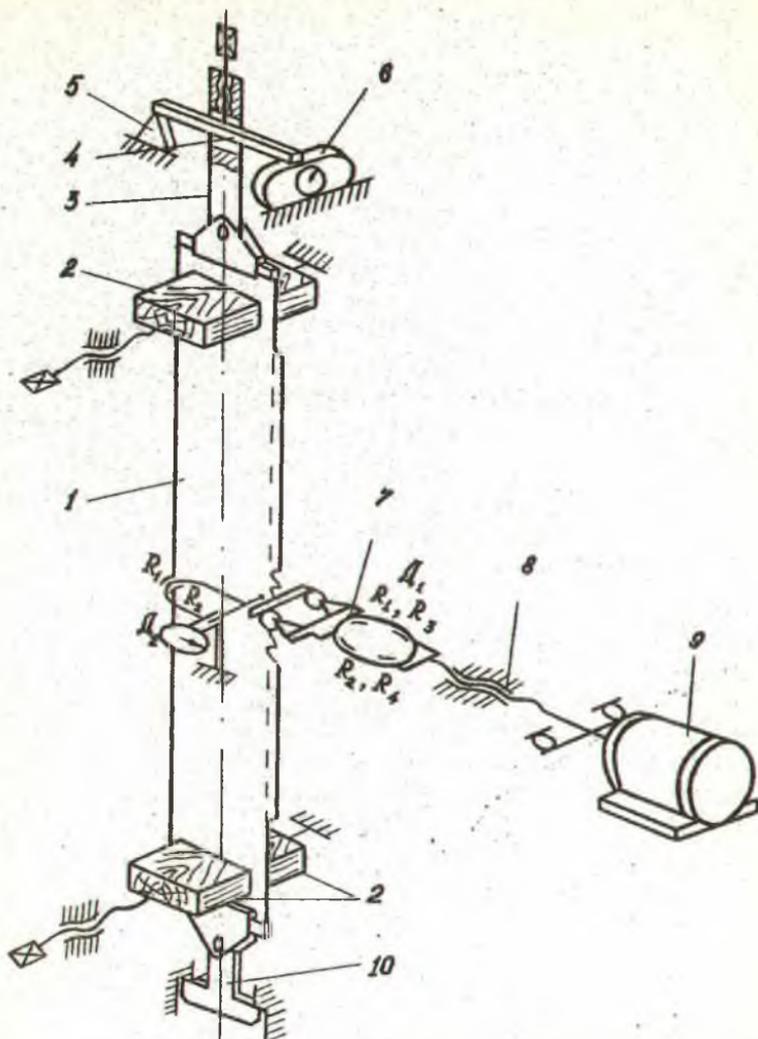


Рис. 1. Кинематическая схема экспериментальной установки для исследования устойчивости плоской формы изгиба полотна рамной пилы: 1-рамная пила; 2-прокладки; 3,10-верхний и нижний захваты; 4-балка; 5- шарнир; 6-динамометр ДС-5; 7-нажимная головка; 8-винтовая пара; 9-исполнительный механизм.

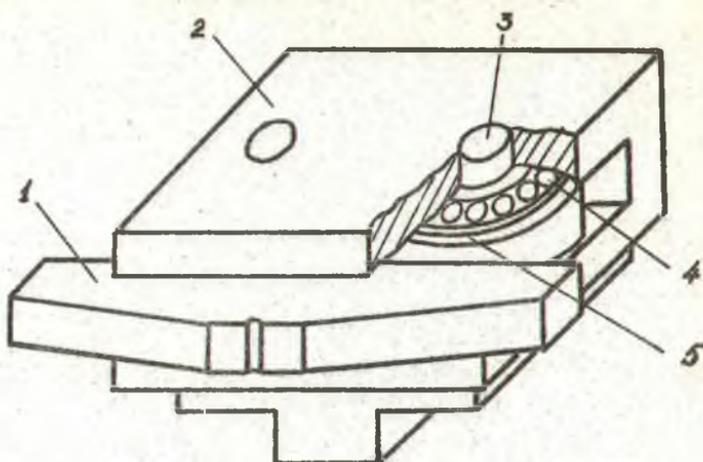


Рис.2. Нажимная головка: 1 - балка; 2 - корпус; 3 - ось; 4 - подшипник; 5 - бандаж

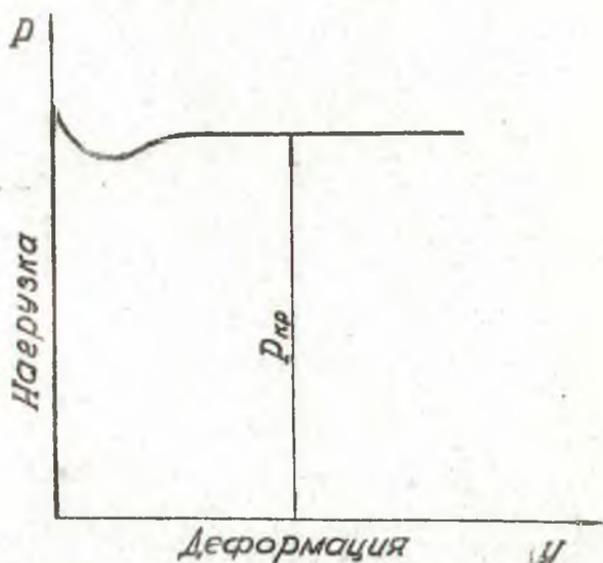


Рис.3. Характерный вид кривой, записанной на приборе при исследовании устойчивости плоской формы изгиба полотна рамной пилы

замерялось расстояние от оси "икс" до горизонтального участка кривой и с помощью тарировочного графика определялась величина критической силы. Опытные данные статистически обрабатывались.

### 3. Результаты опытов

По опытным данным и значениям критических сил, рассчитанных для условий, принятых в опытах, построили графики (рис.4). В экспериментах приложение нагрузки было сосредоточенным, поэтому при расчетах принималось  $h=0$ . Для перехода от степени вальцевания  $f$  к разности напряжений  $\Delta\sigma$  использовалась формула А.Э.Грубе

$$\Delta\sigma = \frac{2\pi f}{n\ell} E \quad (19)$$

Опыты показали, что большое влияние на устойчивость оказывает место приложения нагрузки. При изменении  $t$  от 0,5 до 0,8 критическая сила по теоретическим данным увеличилась на 21%, а по экспериментальным - на 22%. Отсюда видно, что при расчете пил на устойчивость следует учитывать место приложения горизонтальной силы. При увеличении эксцентриситета до оптимальной величины критическая сила возрастает. Дальнейшее увеличение эксцентриситета приводит к уменьшению критической силы. Значение оптимального эксцентриситета, полученное опытным путем, совпало с величиной оптимального эксцентриситета, полученной по формуле. По данным экспериментов, за счет установки пил с оптимальным эксцентриситетом можно повысить критические силы на 50%.

Одним из основных средств повышения устойчивости является увеличение силы натяжения. При увеличении силы натяжения от 1000 до 3000 кг устойчивость пилы толщиной 2 мм с шириной полотна 160 мм возрастает согласно экспериментальным данным на 91%, теоретическим - на 83%. Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями не превышает 12%. Критическая сила связана с силой натяжения прямолинейной зависимостью. При больших нагрузках на пилы натяжение необходимо увеличить.

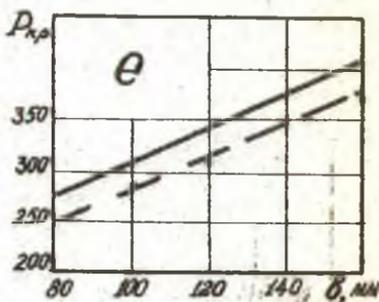
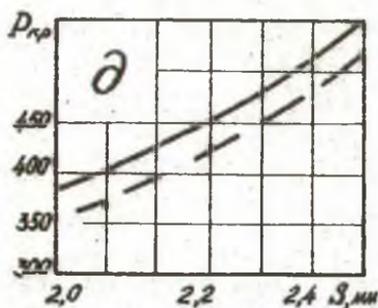
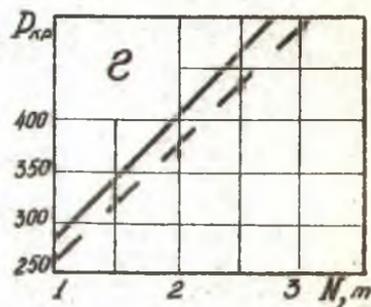
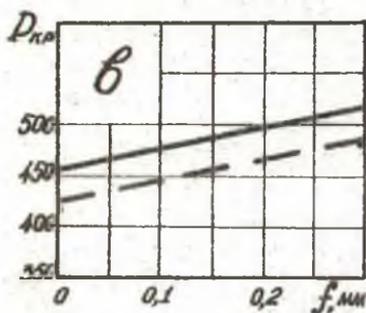
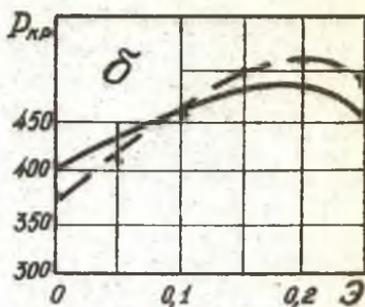
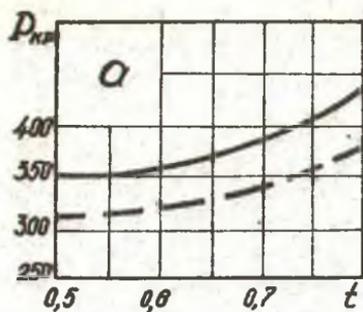


Рис. 4. Влияние на устойчивость рамных пил: а- места приложения нагрузки; б- эксцентриситета линии натяжения; в- степени вальцевания; г- силы натяжения; д- толщины пилы; е- ширины полотна пилы.

————— теоретические значения критической силы;  
 - - - - - экспериментальные значения критической силы;

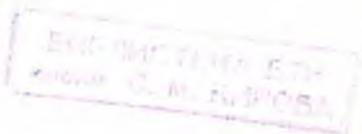
Вальцевание предназначено для создания начальных напряжений, благоприятно распределенных по ширине пилы, оно повышает устойчивость пил. По теоретическим данным вальцевание до  $f = 0,3$  мм повысило критическую силу на 12%, по экспериментальным - на 19%. Экспериментальные значения критической силы при различных степенях вальцевания отличались от теоретических не более чем на 9%. Вальцевание имеет большой эффект при малых силах натяжения  $N$ .

Большое влияние на устойчивость оказывает толщина пилы. При увеличении толщины пилы с 2 мм до 2,5 мм критическая сила возросла на 32%, по теоретическим данным - на 35%. Опытные данные отличались от теоретических не более чем на 9%. Особенно велико значение толщины пилы при малых натяжениях. По мере увеличения силы натяжения влияние толщины пилы на устойчивость уменьшается.

2628 ар.  
Одним из главных факторов, влияющих на устойчивость рамных пил, является ширина полотна. При уменьшении ширины полотна критическая сила уменьшается. Так, во время опытов при уменьшении ширины полотна пилы со 160 до 80 мм критическая сила уменьшалась на 31%. Такое же уменьшение показали и теоретические данные. Экспериментальные значения критических сил отличались от теоретических не более чем на 10%. Таким образом, в результате стачивания и износа полотно рамной пилы становится менее устойчивым. Особенно большое значение приобретает ширина полотна пилы при больших силах натяжения. Поэтому необходимо применять широкие пилы и проводить мероприятия по сохранению их ширины. Одним из таких мероприятий является оснащение пил пластинками из твердых сплавов.

#### РАСЧЕТ ПОСЛОН, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННУЮ ТОЧНОСТЬ РАСПИЛКИ

Выше было отмечено, что полотно рамной пилы, находясь в устойчивом состоянии при силах резания, меньше критических, может отклониться под действием боковых сил на величину, большую допустимой. Это приведет к браку пиломатериала. Боковые силы всегда имеют место при пилении. Они зависят от строения



древесины, подготовки и установки инструмента, точности хода пильной рамки и базирования распиливаемого материала. Поэтому при расчетах необходимо брать часть критической посылки. Чтобы знать, какую долю критической посылки надо брать, необходимы сведения о технологической жесткости.

Для исследования технологической жесткости на экспериментальной установке для исследования устойчивости рамных пил вместо датчика перемещения  $D_2$  был установлен жесткомер. Жесткость пилы замерялась при различных значениях горизонтальной силы  $P$  вплоть до потери устойчивости. Опыты показали, что технологическая жесткость может быть выражена формулой

$$j_T = j \left( 1 - \frac{P}{P_{кр}} \right) \quad (20)$$

Когда отсутствуют силы резания, технологическая жесткость равна начальной. При достижении силами резания критических значений технологическая жесткость равна 0.

Согласно исследованиям С.М.Хасдана, отношение пикового значения силы подачи к средней силе резания за рабочий ход в среднем равно 2,5. Работа резания (за рабочий ход пилы) при этом составляет 0,85 % от всей работы, затрачиваемой при пилении. Таким образом,

$$P_{под} = 2,5 \cdot 0,85 R_{рез} = 2,1 \frac{кВт \cdot \Delta}{H} \quad (21)$$

Технологическая жесткость представляет собой отношение боковой силы, приложенной к режущей кромке, к величине отклонения ее под действием этой силы, т.е.

$$j = \frac{Q}{y} \quad (22)$$

Подставив в уравнение (20) значение  $P$  и  $j_T$  и выразив  $\Delta$ , получим формулу для расчета посылки, обеспечивающей

необходимую точность распиловки

$$\Delta = \frac{N P_{кр}}{2,1 k b^2 h} \left( 1 - \frac{Q}{y j} \right). \quad (23)$$

где  $N$  - ход пильной рамки, мм;  
 $k$  - удельная работа резания, кгм/см<sup>3</sup>;  
 $b$  - ширина пропила, мм;  
 $h$  - высота пропила, мм;  
 $P_{кр}$  - критическая сила, кг;  
 $Q$  - боковая сила, кг;  
 $j$  - начальная жесткость, кг/мм;  
 $y$  - допустимое отклонение режущей кромки пилы, мм.

Выражение перед скобкой показывает критическую посылку, достигнув которой пила теряет устойчивость. Выражение в скобках показывает, какую долю критической посылки необходимо взять, чтобы при действии боковых сил  $Q$  и начальной жесткости  $j$  максимальное отклонение режущей кромки не превышало величины  $y$ . Боковые силы, возникающие при рамном пилении, изучены недостаточно. Определение их требует специальных исследований. По имеющимся данным, их можно принимать порядка 2 - 3 кг. Критическая сила определяется по формуле (14), а начальная жесткость - по формуле (9). Для вычисления удельной работы резания можно пользоваться формулами А.Л.Бершадского.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В результате проведенной работы установлено следующее:

1. Основным показателем устойчивости является величина критической силы, при которой полотно рамной пилы теряет устойчивость плоской формы изгиба.

2. Влияние вертикальной составляющей силы резания на устойчивость рамных пил незначительно и при расчете рамных пил на устойчивость ее можно пренебречь.

3. Величина критической силы для вальцованных рамных пил при приложении распределенной по высоте пропила нагрузки -

ки в любой точке по длине пилы определяется по формуле (14).

4. Влияние высоты пропила на устойчивость характеризуется величиной  $m$ , значения которой приведены в табл.2.

5. Относительный эксцентриситет линии натяжения рамных пил может иметь оптимальное значение, при котором критическая сила имеет максимальную величину. Величина оптимального относительного эксцентриситета зависит в основном от размеров сечения пилы и силы натяжения. Она находится по формуле (16). Из формулы следует, что толстые пилы необходимо натягивать с большим относительным эксцентриситетом, а для широких пил и при больших силах натяжения относительный эксцентриситет должен быть меньшим.

6. При повышении эксцентриситета он может достичь критической величины, при которой полотно рамной пилы потеряет устойчивость плоской формы изгиба во время натяжения при отсутствии сил резания. Величина критического эксцентриситета линии натяжения определяется по формуле (18).

7. Для рамных пил, натянутых с оптимальным относительным эксцентриситетом, критическая сила определяется по формуле (17). Из формулы видно, что большое влияние на устойчивость рамных пил оказывает сила натяжения, свободная длина и размеры поперечного сечения. Влияние толщины пил на устойчивость особенно велико при малых силах натяжения и малой ширине пил. Ширина пил, наоборот, оказывает большое влияние на устойчивость при больших силах натяжения. Устойчивость пилы шириной 160 мм при силе натяжения 5000 кг и толщине 2 мм на 60% больше, чем устойчивость пилы шириной 80 мм. Это доказывает целесообразность применения пил с зубьями, оснащенными твердым сплавом. Устойчивость рамных пил связана обратно пропорциональной зависимостью со свободной длиной, поэтому необходимо стремиться к уменьшению свободной длины. Один из способов уменьшения свободной длины — применение скользящих направляющих элементов. Это позволит уменьшить свободную длину пил на величину хода пильной рамки.

---

Г.Ф.Прскофьев, А.Г.Туданов "Устройство для установки рамных пил". Авторское свидетельство № 266188, 25.II.1968.

8. Используя экспериментальные данные С.М.Хасдана, полученные при исследовании сил резания, действующих на рамные пилы в процессе пиления, можно рассчитать величину критической посылки, при достижении которой пила теряет устойчивость. Для получения требуемой точности распиловки величина посылки должна составлять часть критической посылки. Посылка, обеспечивающая заданную точность распиловки, может быть рассчитана по формуле (22). В этой формуле выражение, стоящее в скобках, показывает, какую долю критической посылки необходимо взять при начальной жесткости  $j$  и боковой силе  $Q$ , чтобы отклонение режущей кромки не превышало величину  $\psi$ .

Повышение точности хода пильной рамки, улучшение базирования распиливаемого материала и правильная подготовка пил позволит уменьшить величину боковой силы и приблизить посылку к критической.

9. Величина начальной жесткости может быть определена по формуле (9). Значения собственной жесткости рамных пил приведены в табл. I.

10. Полученные зависимости позволяют рассчитать посылки по точности распиловки в зависимости от устойчивости пил и технологических факторов и, наоборот, задавшись посылками, можно определить размеры пил и силы натяжения, обеспечивающие устойчивость пил при этих посылках.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Г.Ф.Прокофьев. Определение величины критического эксцентриситета линии натяжения рамных пил. Научные труды ЦНИИМОДа, вып. 23, Архангельск, 1969.

2. Г.Ф.Прокофьев. О жесткости рамных пил. Научные труды ЦНИИМОДа, вып.24, Архангельск, 1969.

3. Г.Ф.Прокофьев. Оптимальный относительный эксцентриситет линии натяжения рамных пил. Научные труды ЦНИИМОДа, вып.24, Архангельск, 1969.

4. Г.Ф.Прокофьев, А.Г.Туфанов. Устройство для установки рамных пил. Авторское свидетельство № 266188, 25/XI - 1970 г. "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", Официальный бюллетень, 1970, № II.

Результаты данной работы использованы при разработке руководящих технических материалов по определению режимов пиления рамными пилами бревен и брусьев хвойных пород на двухэтажных лесопильных рамах.

СЛ. 03361. Подписано к печати 21.ХП.1970г. Печ.листов 1,5  
Тираж 160 экз.                      Заказ № 506.                      Бесплатно

---

Архангельск, Набережная Ленина, 112. Ротапринт ЦНИИМОД