

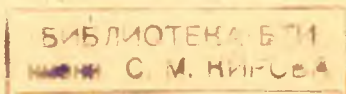
674
3-13

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

Г. И. ЗАВОЙСКИХ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ
В ДИСКОВОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЕ
В БОЛЬШОМ ДИАПАЗОНЕ
ТОЛЩИНЫ СТРУЖКИ**



Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
кандидат технических наук,
доцент
К. М. ПАРАМОНОВ

МИНСК 1967

674
3-13

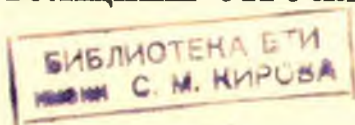
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

Г. И. ЗАВОЙСКИХ

1922 ар.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ
В ДИСКОВОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЕ
В БОЛЬШОМ ДИАПАЗОНЕ
ТОЛЩИНЫ СТРУЖКИ**



Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель—
кандидат технических наук,
доцент
К. М. ПАРАМОНОВ

МИНСК 1967

Работа выполнена на кафедре механизации лесоразработок
Белорусского технологического института имени С. М. Кирова.

Автореферат разослан

1967 года.

Защита состоится

1967 года.

Ваши отзывы и замечания по автореферату просим направлять в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: г. Минск, ул. Свердлова, 13, БТИ им. С. М. Кирова, ученому секретарю.

Ученый секретарь

(Н. П. БЛИНЦОВА)

Развитие лесной промышленности и ее перерабатывающих производств, обусловленное огромными темпами роста всех отраслей народного хозяйства страны, требует наиболее полного использования лесосырьевых ресурсов нашей Родины.

Потребность народного хозяйства в древесине и продуктах ее переработки должна удовлетворяться не только за счет увеличения общего объема лесозаготовок, но и путем комплексного и рационального использования всей древесины и всевозможных древесных отходов. Однако до настоящего времени большое количество низкотоварной древесины (80—85 млн. м³ в год), более 100 млн. м³ отходов лесозаготовок и 80—85 млн. м³ отходов лесопиления и деревообработки не находят должного применения.

Программа Коммунистической партии Советского Союза, принятая на XXII съезде КПСС, решения декабрьского 1963 г.) Пленума ЦК КПСС и Директивы XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг. указывают конкретные пути решения этой задачи.

Важным средством для резкого повышения степени использования древесины и всех видов древесных отходов является широкое внедрение в лесоперерабатывающую промышленность химических и химико-механических методов переработки лесного сырья, имеющих в себе огромный резерв увеличения производства всевозможных материалов и продуктов из частей растущего дерева.

Почти все разновидности химического и химико-механического способов переработки связаны с предварительным измельчением древесного сырья в технологическую щепу или специальную стружку. Энергохимическое использование древесины и древесных отходов или их простое сжигание в топках тепловых установок требует производства разновидности технологической—топливной щепы.

К концу текущей пятилетки ежегодный объем древесины и древесных веществ, используемых после предварительного из-

мельчения, увеличится в несколько раз и приблизится к 100 млн. м³.

Резкое увеличение объема производства измельченной древесины связано с дальнейшим совершенствованием существующих и созданием новых конструкций рубильных машин. Большую актуальность приобретает изучение процессов, связанных с резанием древесины в станках-измельчителях.

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному изучению основных силовых параметров процесса продольно-торцевого резания древесины в большом диапазоне толщины стружки в дисковой рубильной машине.

Работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 175 страницах машинописного текста и включает 32 таблицы и 80 рисунков. Список использованной литературы и основные материалы статистической обработки экспериментальных данных в объеме 27 страниц оформлены в виде 5 приложений и приводятся после основного текстового материала.

В первой главе кратко освещены вопросы экономической эффективности применения химических и химико-механических методов переработки древесного сырья в лесоперерабатывающей промышленности. Уделено внимание качеству измельченной древесины, предназначенной для технологических целей. Даны классификация и краткое описание некоторых отечественных и зарубежных типов рубильных машин.

Вторая глава посвящена краткому обзору и критическому анализу исследований русских и советских ученых в области торцевого, продольно-торцевого и продольно-торцевого-поперечного видов резания древесины. Дается также анализ работ советских и некоторых зарубежных исследователей, посвященных изучению процесса резания древесины с отделением толстой стружки и производству технологической щепы.

Третья глава содержит теоретическое исследование зависимости удельной касательной силы резания P от толщины стружки e при продольно-торцевом резании древесины в диапазоне толщин стружек, встречающихся как в деревообработке ($e < 2$ мм), так и при производстве технологической щепы ($e > 10$ мм). Дается общая картина стружкообразования в широком интервале толщины стружки с точки зрения общих закономерностей процесса резания древесины, установленных проф. А. Л. Бершадским. Исследованы некоторые вопросы, связанные с установлением размерных соотношений элементов стружки скалывания в зависимости от толщины стружки e , угла резания δ и угла перерезания волокон φ . Анализируется

влияние основных параметров дисковой рубильной машины (угла подачи ϕ , угла резания δ , угла установки рубильного ножа ω , величины среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$) на удельную касательную силу резания P и удельную силу затягивания вдоль волокон $P_{\text{зат}}$.

В четвертой главе приводится методика экспериментальных исследований и краткое описание экспериментальной установки, состоящей из специальной дисковой рубильной машины, сконструированной автором, и измерительной аппаратуры, собранной на базе тензометрической установки ОТ-24-51.

Пятая глава содержит результаты экспериментальных исследований. Приводятся данные статистической обработки опытного материала по силе резания P и силе затягивания $P_{\text{зат}}$ при резании четырех распространенных пород (ели, сосны, березы и осины) при изменяющихся параметрах процесса. Излагается способ обобщения опытных данных по силе резания P , разработанный на базе полученных закономерностей, и результаты обобщения. Приведены сведения о лабораторной варке целлюлозы из образцов еловой щепы, полученной на экспериментальной рубильной машине. Дано сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими выводами.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНО-ТОРЦЕВОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТОЛЩИНЫ СТРУЖКИ

Обзор отечественной и зарубежной литературы показывает, что большинство работ в области исследования процессов резания древесины посвящено изучению таких видов резания, которые характерны для *деревообработки*—получению деталей заданных размеров и формы с определенной степенью чистоты обработки путем удаления некоторой части заготовки в виде стружки.

Стремление к уменьшению потерь и повышению точности в деревообработке привело к уменьшению величины подачи на резец. Толщина стружки почти во всех случаях резания в деревообрабатывающих станках не превышает 2 мм. Поэтому работы, относящиеся к изучению процессов резания, характерных для деревообработки, как правило, посвящены исследованию явления отделения относительно тонкой стружки толщиной менее 2 мм.

Изучению процесса отделения толстой стружки, характерной резанию древесины в рубильных машинах, до сих пор уделяется мало внимания.

Проведенное небольшое число исследований в данной области, во-первых, с теоретической точки зрения не освещает общей картины стружкообразования в диапазоне толщин стружек от $e < 2$ мм до $e > 10$ мм, во-вторых, характеризуется значительными расхождениями опытных данных.

По нашему мнению, основной причиной первого является склонность предыдущих исследователей считать основные теоретические положения, разработанные для случая резания древесины в деревообработке, полностью применимыми для случая отделения толстой стружки в процессе измельчения древесины в рубильных машинах; причины второго — различные условия проведения экспериментов и неодинаковое совершенство аппаратуры исследования.

Целью резания древесины в рубильных машинах является получение измельченной древесины (стружки) определенного качества как сырья для различных технологических процессов. Резание древесины при ее измельчении, как правило, происходит преимущественно в продольно-торцевом направлении при больших величинах подачи на резец. При этом толщина стружки во много раз превышает толщину стружки в деревообработке и достигает 20 мм и более.

При теоретическом обосновании силовых параметров процесса резания в рубильной машине мы исходили из установленной проф. А. Л. Бершадским и подтвержденной экспериментами многих исследователей общей закономерности резания, заключающейся в том, что «стружкообразование происходит в зоне постоянства давления». При этом было сделано предположение, что между стружкообразованием в процессе отделения тонкой стружки в деревообработке ($e < 2$ мм) и явлением отделения толстой стружки скалывания при производстве технологической щепы ($e > 10$ мм) существует некоторое принципиальное различие, которое должно быть принято во внимание при применении для случая измельчения древесины основных теоретических положений, разработанных для деревообработки.

Теоретический анализ, проведенный на основе работ проф. М. А. Дешевого, проф. С. А. Воскресенского и проф. А. Л. Бершадского, а также изучение процесса отделения толстой стружки скалывания показывают, что между стружкообразованием при резании древесины в деревообрабатывающих станках и ре-

занием древесины в рубильных машинах имеется существенное различие, заключающееся в различном характере деформации образующихся стружек.

Тонкая сливная стружка и стружка скалывания толщиной до 2 мм, характерные для случая резания древесины в деревообрабатывающих станках, в процессе отделения резцом испытывают упруго-пластическую деформацию по всей площади поперечного сечения и по всей длине, т. е. упруго-пластически деформируются по всему объему.

Толстая стружка скалывания, образующаяся при производстве технологической щепы в рубильных машинах ($e > 10$ мм), в процессе отделения резцом испытывает упругие деформации по всему объему, но упруго-пластически деформируется только в области, близлежащей к плоскости раздела и поверхности контакта с передней гранью резца.

Если в случае отделения тонкой стружки, упруго-пластически деформированной по всему объему, удельную касательную силу резания по передней грани резца P_{Π} можно выразить прямолинейной зависимостью вида (А. Л. Бершадский, С. А. Воскресенский и др.):

$$P_{\Pi} = k_{cp}e, \quad (12)$$

то с переходом в зону частично упруго-пластически деформированных стружек зависимость $P_{\Pi} = f(e)$ приобретает явно выраженную криволинейную форму.

Для случая продольно-торцевого резания древесины с отделением стружки скалывания толщиной более 2 мм (рис. 1) предлагается следующая формула, устанавливающая зависимость силы резания по передней грани P_{Π} от толщины стружки e , угла резания δ и угла перерезания волокон ψ :

$$P_{\Pi} = \frac{k \cdot e \cdot \sin \delta}{2n \cdot \sin \psi \cdot \sin(\delta + \psi)}. \quad (21)$$

Здесь k — удельное касательное давление стружки на площадь контакта стружки с передней гранью.

В свою очередь отношение длины скалываемого элемента стружки к его толщине

$$n = \frac{l_{ш}}{t}$$

выражается следующей зависимостью:

$$n = \frac{\sigma_{\psi см}}{k_{ск \parallel}} \cdot \frac{\sin(90^\circ - \varphi - \delta)}{\cos \delta} \sqrt{1 + \mu^2}, \quad (23)$$

где $\sigma_{\psi_{см}}$ — временное удельное сопротивление сжатию древесины под углом к волокнам $\psi = 90^\circ - \delta$;

$k_{ск \parallel}$ — коэффициент скальвания древесины вдоль волокон при резании в торец;

φ и μ — соответственно угол трения и коэффициент трения стружки о переднюю грань резца.

Изучение характера изменения отношения n показывает, что величина n уменьшается с уменьшением толщины стружки

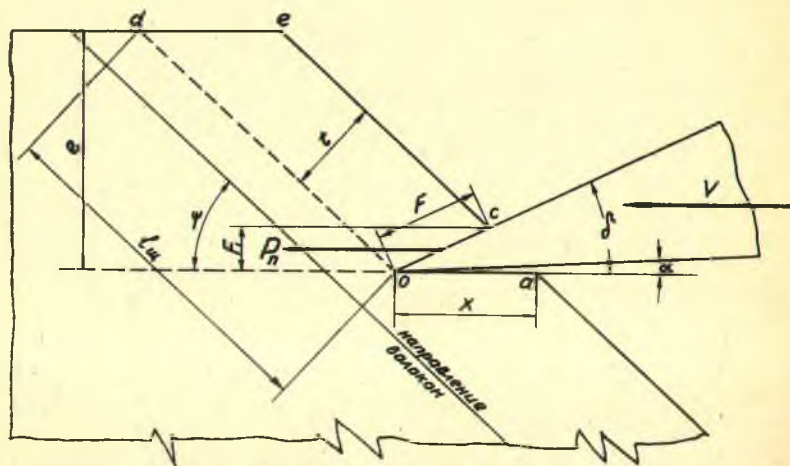


Рис. 1. Схема продольно-торцевого отделения толстой стружки скальвания

e и c увеличением угла резания δ и увеличивается с уменьшением угла перерезания волокон ψ . При постепенном увеличении толщины стружки e и приближении суммы углов $\delta + \psi$ к 90° соотношение n стремится к своему предельному значению, равному

$$n = \frac{\sigma_{ск \parallel}}{\sigma_{сж \parallel}},$$

где $\sigma_{сж \parallel}$ и $\sigma_{ск \parallel}$ — соответственно пределы прочности сжатию и скальванию древесины вдоль волокон.

В результате изменения соотношения n в зависимости от толщины стружки e зависимость $P_n = f(e)$ в большом диапазоне величин толщины стружки будет иметь вид кривой, показанной на рис. 2. Угол наклона кривой $P_n = f(e)$ к оси абсцисс при увеличении e будет постепенно уменьшаться, стремясь к некоторому

пределу φ_2 при стремлении величины n к своему пределу $\frac{\sigma_{сж \parallel}}{\sigma_{ск \parallel}}$,
 причем $\varphi_2 < \varphi_1$.

Удельная касательная сила резания P определится по известной формуле как сумма

$$P = P_n + p_3, \quad (14)$$

где p_3 — фиктивная сила резания по задней грани резца — для данной геометрии резца и условий резания величина постоянная.

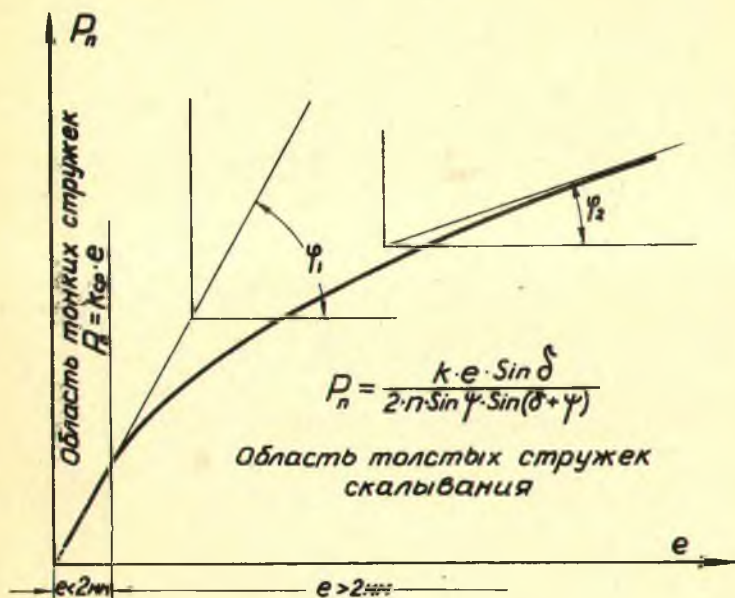


Рис. 2. График зависимости $P_n = f(e)$ в широком диапазоне толщины стружки

Расчеты показывают, что увеличение угла установки линии режущей кромки рубильного ножа относительно радиуса ножевого диска ω влечет за собой уменьшение силы резания P за счет так называемого «кинематического заострения» резца. Уменьшение среднего радиуса резания $R_{ср}$ также вызывает уменьшение усилия резания P , так как оно приводит к увели-

чению явления «протяжки» ножа в древесине. Для определения величины протяжки c предлагается формула,

$$c = \sqrt{\left(R_{\text{ср}} - \frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - \left(R_{\text{ср}} - \frac{b}{2}\right), \quad (24)$$

где a и b — соответственно длина и ширина прямоугольника сечения образца древесины в плоскости реза.

При уменьшении $R_{\text{ср}}$ величина c , увеличиваясь, стремится к пределу, равному

$$c = \frac{a}{2}.$$

В силу особенностей резания в рубильных машинах сила отжима реза всегда остается меньше усилия затягивания древесины. Усилие затягивания $P_{\text{зат}}$, обусловленное большой толщиной снимаемой стружки, продольно-торцевым резанием и направлением подачи, имеющим с направлением резания угол меньше 90° , достигает обычно значительной величины. При расчетах механизма резания и механизма принудительной подачи нужно учитывать усилие затягивания, действующее в направлении подачи.

Для определения удельной силы затягивания вдоль волокон $P_{\text{зат}}$ предлагается формула, полученная на основании анализа взаимодействия сил, действующих на древесину, резец и контрнож:

$$P_{\text{зат}} = P \cos \psi + (P_c - P_{\text{отж}}) \sin \psi - \mu [P \sin \psi - (P_c - P_{\text{отж}}) \cos \psi]. \quad (25)$$

Здесь

$$P = P_{\text{п}} + p_3; \quad (14)$$

$$P_c = P_{\text{п}} \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi - \delta); \quad (11)$$

$$P_{\text{отж}} = \frac{P_3}{f}^* \quad (13)$$

*) Формулы для определения P , P_c и $P_{\text{отж}}$ даны по проф. А. Л. Бершадскому. (А. Л. Бершадский. О расчете режимов продольного пиления. Ж-л «Лесная промышленность», 1964, № 12).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментального определения силовых параметров процесса резания и изучения особенностей явления резания древесины в рубильных машинах изготовлена экспериментальная установка, состоящая из дисковой рубильной машины и измерительной аппаратуры.

Экспериментальная рубильная машина сконструирована автором и по разработанным им рабочим чертежам изготовлена Минским опытно-механическим заводом им. Гастелло. Машина имеет ножевой диск диаметром 1100 мм, на котором имеются 7 пар диаметрально расположенных окон для установки державок с рубильными ножами. Применение двух типов державок позволяет крепить рубильные ножи двумя распространёнными способами, позволяющими в необходимых пределах изменять угол резания δ или задний угол α за счет изменения угла заточки ножей β . Расположение продольной оси окон под различными углами к линии радиуса диска обеспечивает изменение угла установки режущей кромки рубильного ножа ω . Предусмотрена возможность установки рубильных ножей на ножевом диске соответственно трем величинам среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$, равным 225, 325 и 425 мм.

Механизм принудительной подачи рубильной машины, приводимый в действие ходовым винтом, снабжен устройствами для изменения толщины снимаемой стружки и точной фиксации ее величины, а также приспособлением для установки образца древесины в положения, соответствующие трем величинам радиуса резания $R_{\text{ср}}$. В конструкции станка с целью регистрации основных силовых факторов процесса резания и контрольных величин предусмотрена возможность установки воспринимающих звеньев измерительной аппаратуры.

Измерительная аппаратура включает тензометрический мост из проволочных датчиков, наклеенных на вал ножевого диска для фиксирования крутящего момента $M_{\text{кр}}$, воспринимающее звено с тензодатчиками в головке механизма принудительной подачи для регистрации усилия затягивания $P_{\text{зат}}$, два воспринимающих звена на силовом рычаге шарнирно установленного питающего патрона, служащих для регистрации контрольных величин $T_{\text{гор}}$ и $T_{\text{вер}}$, токосъемник с контактными кольцами, блок балансировки ББ-24-51, осциллограф ОТ-24-51, аккумуляторы питания осциллографа и тензомостов и систему регулировки и контроля напряжения питания тензомостов.

Рубильные ножи изготовлены из стали У10А и закалены до 55 ед. по шкале Роквелла. Радиус затупления режущих кромок остро заточенных ножей ρ составлял 4—8 мм. Вновь заточенный нож во время опыта проходил в древесине путь не более 20 м.

Скорость резания V выдерживалась в пределах, считающихся нормальными для элементарного резания, и в зависимости от радиуса резания $R_{\text{ср}}$ составляла 0,20, 0,29 и 0,38 м/сек.

Испытываемые образцы для каждой породы древесины изготовлялись из одного бревна, вырезанного из тщательно отобранного свежесрубленного ствола, и имели сечения 80×95 мм. Длина образцов—1,2 м.

Основные физико-механические свойства образцов исследуемых пород, определенные по ГОСТ 6336-52, приводятся ниже:

Таблица 1

№№ п/п	Физико-механические свойства	Исследуемые породы			
		ель	сосна	береза	осина
1	Влажность $W_{\text{абс}}$	86,9	39,5	79,1	97,5
2	Удельн. вес γ_{15}	0,427	0,576	0,701	0,508
3	Торцевая твердость H_{15}	205	274	434	260

Методическая сетка предусматривала определение удельной касательной силы резания P и удельной силы затягивания $P_{\text{зат}}$ при изменяющихся значениях толщины стружки от 0,35 до 17,68 мм, угла резания δ от 29° до 45° , угла перерезания волокон ψ от 30° до 60° , угла установки рубильного ножа ω от $+30^\circ$ до -30° , величины среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$ от 225 до 425 мм при постоянстве заднего угла $\alpha = 5^\circ$.

Полученные опытные данные обрабатывались методами математической статистики.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Зависимость силы резания P от толщины стружки e

Определение зависимости удельной касательной силы резания P от толщины стружки e на базе данных экспериментальных исследований показывает, что в диапазоне e в пределах 0,35—17,68 мм зависимость $P = f(e)$ выражается криволи-

нейной функцией с постепенно уменьшающимся углом наклона к оси абсцисс (рис. 3).

Для математического выражения этой зависимости в исследуемых пределах e , δ , ψ , R_{cp} и ω оказалась пригодной кривая вида $y = ax^b$.

С теоретической точки зрения для выражения зависимости $P = f(e)$ более подходящим должна быть кривая вида $y = ax^b + c$, где величина c соответствовала бы значению $P = p_3$ при $e = 0$. Однако в виду того, что в процессе проведения опытов резание производилось практически острыми резцами ($\rho = 4 - 8 \text{ мк}$), когда значение удельной силы резания по задней грани p_3 незначительно, а также из-за многократного превышения общей силы резания P над p_3 , в исследуемых пределах толщины стружки e влияние значения p_3 на P оказалось за пределами точности измерительной аппаратуры.

Для случая резания основных распространенных пород древесины при $R_{cp} = 225 \text{ мм}$, $\omega = 0^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\psi = 45^\circ$ и значениях $e = 0,35 - 17,68 \text{ мм}$ получены следующие зависимости:

для ели

$$\text{при } \delta = 45^\circ \quad P = 0,8432 e^{0,6904}; \quad (78)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ \quad P = 0,8337 e^{0,5803}; \quad (79)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ \quad P = 0,7982 e^{0,3968}; \quad (80)$$

для сосны

$$\text{при } \delta = 45^\circ \quad P = 1,2190 e^{0,6469}; \quad (81)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ \quad P = 1,0690 e^{0,5675}; \quad (82)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ \quad P = 0,9594 e^{0,3613}; \quad (83)$$

для березы

$$\text{при } \delta = 45^\circ \quad P = 1,3400 e^{0,7150}; \quad (72^*)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ \quad P = 1,0780 e^{0,6492}; \quad (71^*)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ \quad P = 0,9535 e^{0,5496}; \quad (70^*)$$

для осины

$$\text{при } \delta = 45^\circ \quad P = 0,8989 e^{0,7107}; \quad (49)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ \quad P = 0,8004 e^{0,6154}; \quad (51)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ \quad P = 0,7096 e^{0,5042}. \quad (54)$$

**Б. Метод обобщения уравнений $P = ae^b$
в общую формулу, устанавливающую зависимость
 P от e , δ и ψ**

Уравнения $P = ae^b$, полученные после математической обработки опытных данных, при значениях δ , равных 45° , 37° и 29° , и переменных значениях ψ , в координатных осях $\lg 10e$, $\lg 10P$ можно представить прямолинейными зависимостями

$$\lg 10P = \lg 10a - b + b \lg 10e.$$

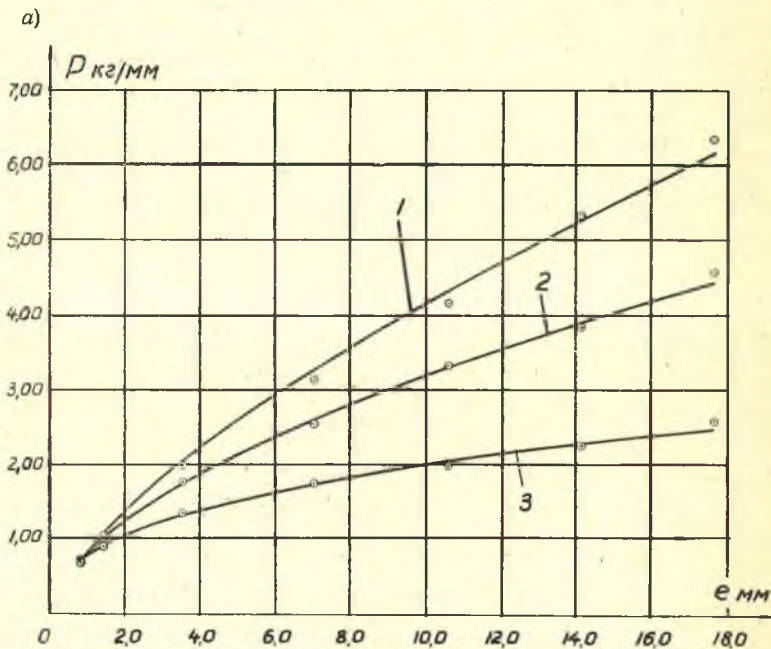


Рис. 3. Графики зависимости $P = f(e)$, полученные опытным

а) для ели 1—при $\delta=45^\circ$;
2—при $\delta=37^\circ$;
3—при $\delta=29^\circ$;

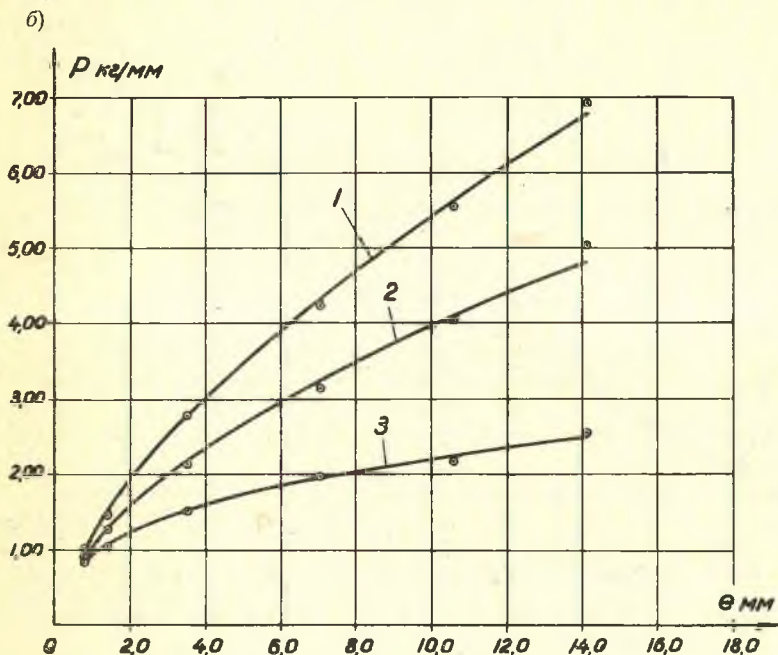
Наблюдения показывают, что группа прямых $\lg 10P = \lg 10a - b + b \cdot \lg 10e$, полученная для одной и той же породы, при различных углах δ и ψ довольно близко располагается к пучку прямых

$$\lg 10P = A + b \lg 10e$$

с центром пучка на оси ординат с координатами 0, А, где

$$A = \lg 10a - b.$$

Величина ординаты центра пучка А (рис. 4) будет соответствовать логарифму среднего значения силы резания P при $e=0,1$ мм, увеличенного в 10 раз. Расчеты показывают, что замена действительных уравнений $P=f(e)$ уравнениями ближайших прямых из названного пучка дает ошибки при $e=1,0$ мм не



путем при $\psi = 45^\circ$:

- б) для сосны 1—при $\delta=45^\circ$;
 2—при $\delta=37^\circ$;
 3—при $\delta=29^\circ$.

более 10%, а при дальнейшем увеличении e процент ошибки круто уменьшается и не выходит за допустимые пределы.

Отсюда физический смысл точки А можно определить следующим образом: при постепенном уменьшении толщины стружки e влияние величин δ и ψ на силу резания P уменьша-

ется и при $e = 0,1$ мм становится практически неощутимым (для случая резания с отделением толстой стружки).

Так как для определения уравнения уравнивания любой прямой из пучка достаточно иметь точку, лежащую на этой прямой вне центра пучка, то определение уравнения вида $P = ae^b$ для любого значения δ и ψ в исследуемых пределах δ и ψ становится легко разрешимой задачей. Для этого из графиков зависимости P от

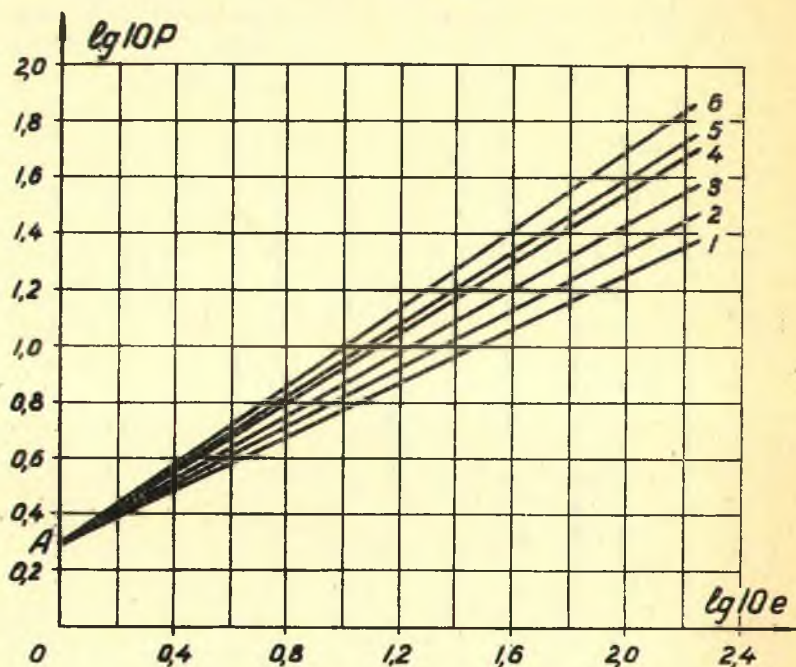


Рис. 4. Корректированные зависимости $P = f_i(e)$ в осях координат $\lg 10e$, $\lg 10P$:

- 1—при $\delta=29^\circ$, $\psi=30^\circ$, $P=0,615 e^{0,479}$;
- 2—при $\delta=29^\circ$, $\psi=40^\circ$, $P=0,687 e^{0,527}$;
- 3—при $\delta=37^\circ$, $\psi=30^\circ$, $P=0,753 e^{0,567}$;
- 4—при $\delta=37^\circ$, $\psi=50^\circ$, $P=0,871 e^{0,630}$;
- 5—при $\delta=45^\circ$, $\psi=40^\circ$, $P=0,910 e^{0,649}$;
- 6—при $\delta=45^\circ$, $\psi=60^\circ$, $P=1,007 e^{0,693}$.

δ или P от ψ при любом значении $e > 0,1$ мм следует найти значение P при искомах δ и ψ и $\lg 10P$ при соответствующем $\lg 10e$ отложить на осях $\lg 10e$, $\lg 10P$ (рис. 4). Соединив полученную точку с точкой A —центром пучка—будем иметь искомую зави-

симость в осях $\lg 10e$, $\lg 10P$, математическое выражение которой несложно превратить в уравнение вида $P = ae^b$.

На рис. 4 показаны полученные подобным путем скорректированные зависимости $P = f(e)$ для осины. Дальнейшее обобщение коэффициентов a и показателей степени b по ψ и δ для осины дало следующую зависимость, объединяющую P , e , δ и ψ :

$$P = [(0,0172\delta - 0,060) + (0,0084 - 0,000076\delta)\psi] \times e^{(0,043+0,01145\delta)+(0,0065-0,000093\delta)\psi} \quad (65)$$

После применения описанного метода обобщения для результатов опытов по резанию остальных исследуемых пород при $\psi = 45^\circ$ получены следующие зависимости:

для березы

$$P = (0,28 + 0,0233\delta) e^{0,33+0,009\delta}; \quad (73)$$

для ели

$$P = (0,72 + 0,0029\delta) e^{0,0183\delta-0,120}; \quad (84)$$

для сосны

$$P = (0,480 + 0,162\delta) e^{0,0177\delta-0,130}. \quad (85)$$

В. Зависимость силы затягивания $P_{зат}$ от e и δ

Зависимость удельной касательной силы затягивания вдоль волокон $P_{зат}$ от толщины стружки e представляется слабо выраженной параболической кривой, напоминающей функцию $P = ae^b$, которая для исследуемых пределов e с достаточной точностью может быть выражена законом прямой линии.

В результате обобщения опытных данных по силе затягивания $P_{зат}$ получены следующие зависимости ($\psi = 45^\circ$):

для ели

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{зат} = 0,684 + 0,322 e; \quad (86)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{зат} = 0,457 + 0,237 e; \quad (87)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{зат} = 0,887 + 0,126 e; \quad (88)$$



для сосны

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 0,865 + 0,402 e; \quad (89)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,928 + 0,290 e; \quad (90)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,849 + 0,180 e; \quad (91)$$

для березы

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 1,082 + 0,515 e; \quad (76)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,929 + 0,422 e; \quad (75)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,811 + 0,350 e; \quad (74)$$

для осины

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 0,375 + 0,395 e; \quad (68)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,526 + 0,319 e; \quad (67)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,541 + 0,262 e. \quad (66)$$

Г. Влияние величины $R_{\text{ср}}$ и ω на силу резания P и силу затягивания $P_{\text{зат}}$.

Зависимость соотношения n от e

Теоретические предположения о том, что уменьшение величины среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$ и увеличение угла установки рубильных ножей ω должны уменьшать силу резания P и силу затягивания $P_{\text{зат}}$, также подтверждаются данными экспериментальных исследований.

В процессе резания березовых образцов при $e = 7,07$ мм, $\phi = 45^\circ$ установлено, что в результате уменьшения $R_{\text{ср}}$ с 439 мм до 226 мм сила резания P падает:

при $\delta = 45^\circ$ приблизительно на 6% (достоверность 100%);

при $\delta = 37^\circ$ приблизительно на 5% (достоверность 99%).

При тех же условиях сила затягивания $P_{\text{зат}}$ обнаруживает тенденцию к падению:

при $\delta = 45^\circ$ приблизительно на 3% (достоверность 73%);

при $\delta = 37^\circ$ приблизительно на 2% (достоверность 45%).

Опыты по резанию сосновых образцов показывают, что изменение угла установки рубильного ножа ω от 0° до -30° при $R_{\text{ср}} = 225$ мм, $\phi = 45^\circ$ и $e = 7,07$ мм приводит к уменьшению величины силы резания P :

при $\delta = 45^\circ$ примерно на 4% (достоверность 100%);

при $\delta = 29^\circ$ примерно на 4% (достоверность 100%).

При тех же условиях сила затягивания $P_{зат}$ уменьшается в среднем на 7—8% (достоверность 94—100%).

В наших опытах заметного влияния положительного и отрицательного значения угла установки рубильного ножа ω на P и $P_{зат}$ не обнаружено.

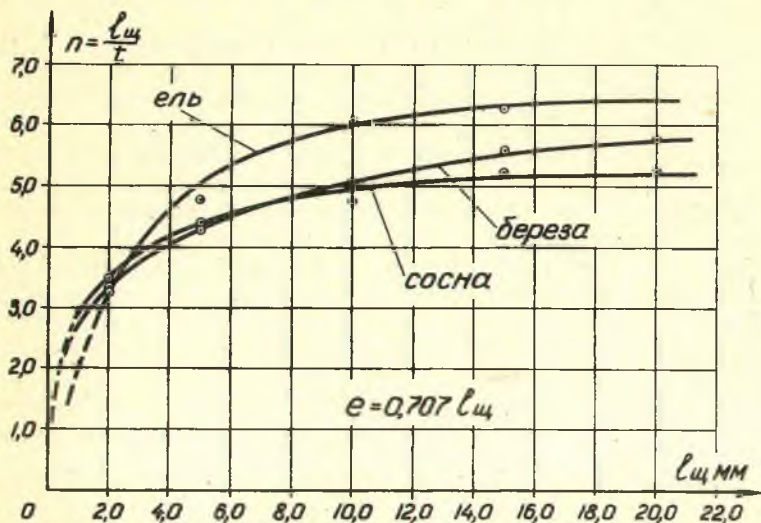


Рис. 5. Зависимости соотношения n от $l_{щ}$ при $\psi=45^\circ$, $\delta=45^\circ$

На рис. 5 показаны графики зависимости соотношения $n = \frac{l_{щ}}{t}$ от длины щепы $l_{щ}$ при $\psi = 45^\circ$, и $\delta = 45^\circ$ для ели, сосны и березы. Так как в данном случае $e = 0,707 l_{щ}$, то приведенные графики характеризуют также и зависимость n от e . Как видно из рис. 5, приведенные графики подтверждают теоретические выводы о том, что при увеличении e величина n увеличиваясь стремится к некоторому пределу.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Резание древесины в рубильных машинах по сравнению с процессом резания в обычных деревообрабатывающих станках имеет характерные отличительные особенности, заключающиеся:

для сосны

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 0,865 + 0,402 e; \quad (89)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,928 + 0,290 e; \quad (90)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,849 + 0,180 e; \quad (91)$$

для березы

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 1,082 + 0,515 e; \quad (76)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,929 + 0,422 e; \quad (75)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,811 + 0,350 e; \quad (74)$$

для осины

$$\text{при } \delta = 45^\circ P_{\text{зат}} = 0,375 + 0,395 e; \quad (68)$$

$$\text{при } \delta = 37^\circ P_{\text{зат}} = 0,526 + 0,319 e; \quad (67)$$

$$\text{при } \delta = 29^\circ P_{\text{зат}} = 0,541 + 0,262 e. \quad (66)$$

Г. Влияние величины $R_{\text{ср}}$ и ω на силу резания P и силу затягивания $P_{\text{зат}}$.

Зависимость соотношения n от e

Теоретические предположения о том, что уменьшение величины среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$ и увеличение угла установки рубильных ножей ω должны уменьшать силу резания P и силу затягивания $P_{\text{зат}}$, также подтверждаются данными экспериментальных исследований.

В процессе резания березовых образцов при $e = 7,07$ мм, $\psi = 45^\circ$ установлено, что в результате уменьшения $R_{\text{ср}}$ с 439 мм до 226 мм сила резания P падает:

при $\delta = 45^\circ$ приблизительно на 6% (достоверность 100%);

при $\delta = 37^\circ$ приблизительно на 5% (достоверность 99%).

При тех же условиях сила затягивания $P_{\text{зат}}$ обнаруживает тенденцию к падению:

при $\delta = 45^\circ$ приблизительно на 3% (достоверность 73%);

при $\delta = 37^\circ$ приблизительно на 2% (достоверность 45%).

Опыты по резанию сосновых образцов показывают, что изменение угла установки рубильного ножа ω от 0° до -30° при $R_{\text{ср}} = 225$ мм, $\psi = 45^\circ$ и $e = 7,07$ мм приводит к уменьшению величины силы резания P :

при $\delta = 45^\circ$ примерно на 9% (достоверность 100%);

при $\delta = 29^\circ$ примерно на 8% (достоверность 100%).

При тех же условиях сила затягивания $P_{зат}$ уменьшается в среднем на 7—8% (достоверность 94—100%).

В наших опытах заметного влияния положительного и отрицательного значения угла установки рубильного ножа ω на P и $P_{зат}$ не обнаружено.

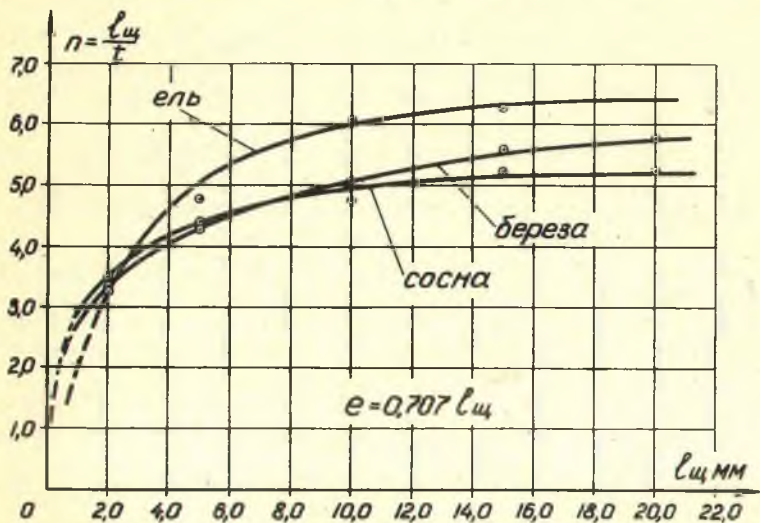


Рис. 5. Зависимости соотношения n от $l_{щ}$ при $\psi=45^\circ$, $\delta=45^\circ$

На рис. 5 показаны графики зависимости соотношения $n = \frac{l_{щ}}{t}$ от длины щепы $l_{щ}$ при $\psi = 45^\circ$, и $\delta = 45^\circ$ для ели, сосны и березы. Так как в данном случае $e = 0,707 l_{щ}$, то приведенные графики характеризуют также и зависимость n от e . Как видно из рис. 5, приведенные графики подтверждают теоретические выводы о том, что при увеличении e величина n увеличиваясь стремится к некоторому пределу.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Резание древесины в рубильных машинах по сравнению с процессом резания в обычных деревообрабатывающих станках имеет характерные отличительные особенности, заключающиеся:

в преимущественно продольно-торцевом резании при попутном расположении волокон, при котором получается характерная стружка скалывания;

в большой толщине отделяемой стружки, многократно превышающей размеры стружек, встречающихся в деревообработке.

2. Названные отличия между процессами резания в деревообработке и при производстве измельченной древесины обуславливают качественное различие между явлениями стружкообразования в сравниваемых процессах.

Стружка, получающаяся в деревообрабатывающих станках, благодаря ее небольшой толщине имеет упруго-пластическую деформацию по всему поперечному сечению и по всей длине, т. е. деформируется по всему объему.

Вследствие особенностей образования стружки скалывания в рубильных машинах отделение ее сопровождается только частичной упруго-пластической деформацией элементов щепы в области, прилегающей к поверхности контакта древесины с резцом.

3. В процессе измельчения древесины сила резания по передней грани P_n при отделении толстой стружки скалывания зависит от соотношения $n = \frac{l_m}{t}$ и определяется по формуле (21). Величина n

изменяется в зависимости от породы, толщины стружки e и углов резания δ и перерезания волокон ψ .

4. Увеличение соотношения n при увеличении толщины стружки e приводит к криволинейной зависимости $P = f(e)$ за счет изменения P_n , которую можно выразить параболической кривой вида $y = ax^b$, где $b < 1$.

5. При резании древесины лиственных пород (береза, осина) установлено увеличение удельного усилия резания P при переходе от тангентального направления резания к радиальному. Интенсивность роста P при переходе к радиальному резанию возрастает с увеличением толщины стружки e .

6. Установлено, что степень влияния угла резания δ и угла перерезания ψ на силу резания P постепенно уменьшается с уменьшением толщины стружки e . В связи с этим явлением разработан метод нахождения уравнений $P = f(e)$ для промежуточных значений δ и ψ . Обобщение найденных уравнений позволяет получить зависимость, связывающую силу резания P с переменными факторами процесса резания (e, δ, ψ).

7. На величину удельной силы затягивания $P_{зат}$ влияют сила резания P , вертикальные составляющие P_c и $P_{отж}$, углы ре-

зания δ и перерезания волокон ψ , также коэффициенты трения реза о древесину и древесины о контрнож питающего патрона. Зависимость $P_{\text{зат}}$ от толщины стружки e выражается параболической кривой с показателем степени, близким к 1, и близка к закону прямой линии.

8. Исследования показывают, что при увеличении угла установки ножа ω и уменьшении величины среднего радиуса резания $R_{\text{ср}}$ удельное сопротивление резанию уменьшается. Влияние названных факторов на силу затягивания $P_{\text{зат}}$ незначительно. Учитывая, что при увеличении ω и уменьшении $R_{\text{ср}}$ происходит улучшение условий резания вследствие смягчения или частичного ликвидации динамических ударов в процессе измельчения, изменение ω и $R_{\text{ср}}$ в названные стороны следует считать желательным.

9. Изучение качества образцов щепы, полученной в экспериментальной рубильной машине, показывает, что образование элементов щепы обеспечивается при одновременном уменьшении угла перерезания волокон ψ до 35° и угла резания δ до 29° . Увеличение угла ψ выше 45° и угла δ выше 37° сопровождается ухудшением качества среза элементов щепы. Особенно заметно качество среза снижается при приближении суммы углов $\delta + \psi$ к 90° и выше. С точки зрения обеспечения качества щепы оптимальными следует считать угол перерезания волокон ψ в пределах $35-45^\circ$, угол резания $\delta-29-37^\circ$.

Результаты лабораторной варки целлюлозы из трех образцов еловой щепы, полученной при $\psi = 45^\circ$, $e = 10,61$ мм и углах δ , равных 29 , 37 и 45° , показывают, что целлюлоза удовлетворяет требованиям ГОСТ 6501-60, и щепы пригодна для промышленной варки целлюлозы сульфитным способом.

10. Сравнение результатов исследования по резанию четырех распространенных пород древесины (ели, сосны, березы и осины) показывает, что сопротивление резанию древесины березы на $70-90\%$ больше по сравнению с елью. Сопротивление резанию сосны на $24-29\%$ больше, а осины до 15% меньше, чем усилие резания P для ели.

Подтверждается вывод проф. А. Л. Бершадского о том, что так называемый «поправочный коэффициент на породу» не постоянен и колеблется в широких пределах для одной и той же породы в зависимости от изменения параметров процесса резания.

При резании древесины в рубильных машинах уменьшение или увеличение угла резания δ и угла перерезания ψ влияет на изменение силовых параметров в большей степени, чем при ре-

зании в деревообрабатывающих станках, в результате чего даже небольшое уменьшение углов δ и ψ может дать значительное сокращение удельного расхода энергии на измельчение.

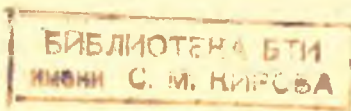
11. В результате теоретического и экспериментального исследования процесса резания древесины четырех пород в дисковой рубильной машине получен ряд сведений, способствующих уточнению расчетов режимов резания. Получена также общая картина стружкообразования при продольно-торцевом резании древесины при постепенном увеличении толщины стружки от размеров, встречающихся в деревообработке ($e < 2$ мм), до толщин, характерных для производства технологической щепы ($e > 10$ мм).

**Основное содержание диссертационной работы
опубликовано в следующих статьях автора:**

1. Пути рационального использования древесины. Сборник научных трудов БТИ им. С. М. Кирова «Вопросы лесозаготовок и транспорта леса», изд. «Высшая школа», Минск, 1967.
2. Определение силы резания древесины в дисковой рубильной машине. Сборник научных трудов БТИ им. С. М. Кирова. «Вопросы лесозаготовок и транспорта леса», изд. «Высшая школа», Минск, 1967.
3. Сила резания в дисковой рубильной машине. Журнал «Деревообрабатывающая промышленность», № 4, 1967.
4. Особенности процесса резания древесины при производстве технологической щепы. Тезисы докладов научно-технической конференции БТИ им. С. М. Кирова, посвященной 50-летию Советской власти, Минск, 1967.
5. Экспериментальная установка для исследования процесса резания древесины при производстве технологической щепы. Сборник научных трудов аспирантов БТИ им. С. М. Кирова (в печати).

Материалы диссертации изложены в докладах:

1. О подготовке древесины и древесных отходов для химической и химико-механической переработки. Доклад на научно-технической конференции выпускников лесотехнологического факультета БТИ им. С. М. Кирова, Минск, 1964.
2. Исследование процесса производства технологической щепы в дисковой рубильной машине. Доклад на научно-технической конференции аспирантов БТИ им. С. М. Кирова, Минск, 1966.
3. Особенности процесса резания древесины при производстве технологической щепы. Доклад на научно-технической конференции БТИ им. С. М. Кирова, посвященный 50-летию Советской власти, Минск, 1967.



1922 ар

АТ 23049. Подп. к печ. 25.VII 1967 г. Объем 1,5 печ. л. Тир. 200 экз. Зак. 706.

г. Минск, тип. изд-ва «Наука и техника». Ленинский пр., 68.