

034.98
К-43

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО, СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

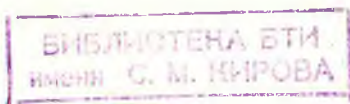
Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

На правах рукописи

Е. В. КИРИЛЛОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ
ДРЕВЕСИНЫ И СУЧЬЕВ
БЕЗ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ**

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва, 1967

634.98

К-43

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО, СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

На правах рукописи

Е. В. КИРИЛЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И СУЧЬЕВ
БЕЗ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1967

1892/3 ао

Экспериментальная часть диссертационной работы выполнена в лаборатории очистки стволов от сучьев Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ). Производственные испытания проводились в Таборском леспромхозе Пермской области и Шуйско-Виданском леспромхозе Карельской АССР. Диссертация изложена на 180 стр. машинописи и содержит: введение, три раздела, в которые входят 10 глав, общие выводы, список использованной литературы в количестве 60 названий. Текст иллюстрирован 15 таблицами и 121 рисунками, графиками, схемами, фотоснимками.

Автореферат разослан 1967 г.

Защита состоится 1967 г.

Отзывы просим присылать по адресу: г. Минск, ул. Свердлова, 13. Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова.

Ученый секретарь совета.

ВВЕДЕНИЕ

XXIII съезд КПСС в своих директивах по пятилетнему плану подчеркнул необходимость обеспечить высокие темпы роста производительности труда в лесной промышленности. Выполнение этих задач возможно путем создания новых и совершенствования существующих высокопроизводительных машин.

Сейчас внимание ученых и конструкторов, создающих новые машины для лесной промышленности, приковано к разработке и совершенствованию стационарных и передвижных сучкорезных и агрегатных машин. Операции, выполняемые этими машинами, занимают основной удельный вес во всей фазе лесозаготовительных работ. Основными узлами таких типов машин являются режущие органы. Созданные ранее сучкорезные машины, работающие со стружкообразованием, оказались неэффективными. Разработка в последнее время сучкорезных машин в СССР с большой скоростью подачи и резания стала возможной в результате применения в них ножей, срезающих сучья без образования стружки. В ЦНИИМЭ создана полуавтоматическая установка для срезания сучьев ПСЛ-2 со скоростью подачи и резания до 3 м/сек. На этом же принципе создана установка для срезания сучьев в институте КарНИИЛПХ. Принцип резания без образования стружки находит применение и при перерезании стволов деревьев. Опытные образцы таких машин созданы не только в нашей стране, но и за рубежом. В частности, такой принцип резания заложен в агрегатных лесозаготовительных машинах США («комбайн Буша», «Роуноук ТФ-1» и «Хибоб»).

Для дальнейшего совершенствования этих машин необходимо изучить закономерности, характеризующие процесс резания без образования стружки.

Совершенствование полуавтоматических установок для срезания сучьев может идти в направлении снижения усилия резания, улучшения качества очистки стволов от сучьев, повышения производительности и надежности в работе, дальнейшей автоматизации всего процесса. Поэтому дальнейшее их совершенствование требует изучения влияния параметров

ножей для срезания сучьев без образования стружки на усилие, возникающие при резании, и качество резания.

Из теории резания со стружкообразованием известно, что основная работа резания совершается передней гранью резца. Сопротивление по передней грани определяется проф. С. А. Воскресенским, исходя из вывода, сделанного на основе опытов А. Е. Золотарева о том, что среднее удельное давление по передней грани резца не зависит от глубины его внедрения. При резании без стружкообразования толщину стружки условно можно принять равной ∞ . Тогда можно предположить, что роль передней грани в сопротивлении резанию возрастает. Это положение подтверждается в опытах Ф. Е. Захаренкова (ЛТА, 1965 г.).

Поэтому, зная характер изменения среднего удельного давления по передней грани при резании без образования стружки, мы могли бы определить усилия и исследовать в целом весь процесс резания аналогично резанию с образованием стружки. А. Е. Золотарев проводил свои опыты при внедрении резца на небольшую глубину резания, что не позволяет без проверки перенести их результаты на процессы, протекающие при резании без образования стружки. Известны также опыты А. Т. Вагина по перерезанию клиновидным резцом без образования стружки древесных тонких стеблей деревьев толщиной 2,5 см. Этими опытами установлено, что величина среднего удельного давления на грани резца, имеющего клиновидную двухстороннюю симметричную форму, не зависит от глубины внедрения. Однако у А. Т. Вагина опыты также проводились при внедрении резца на небольшую глубину, не соответствующую срезанию крупных сучьев, а вытекающие из них выводы не были проверены для определения усилий, возникающих при срезании сучьев. Кроме этого, приборы, применяемые в опытах, не были достаточно совершенны.

Поэтому для определения характера распределения среднего удельного давления по передней грани резца необходима дополнительная постановка экспериментов на большую глубину резания, соответствующую срезанию крупных сучьев.

Процесс срезания сучьев исследован рядом советских ученых: Ф. М. Манжосом, Ф. Е. Захаренковым, В. Г. Нестеренко, И. В. Воробьевым, Н. К. Гилевым, Н. А. Шипилиным и другими. Ф. Е. Захаренков получил опытные данные по определению усилий при срезании сучьев ножами толщиной 10 мм. Такие опыты представляют интерес для анализа процесса срезания сучьев без образования стружки, но результаты их не могли найти практического применения в сучкорезной установке ПСЛ-2, где ножи имеют значительно большую толщину (24 мм). Вопрос о влиянии толщины ножа в опытах Ф. Е. Захаренкова остался неизученным, расчетный

же способ, предложенный им для определения усилий при срезании сучьев, по нашему мнению, ошибочен, так как искажает основные положения теории резания древесины.

В. Г. Нестеренко опытным путем при срезании сучьев сосны цилиндрическими резами установил зависимость между силой резания и диаметром сучка. Однако, несмотря на имеющийся значительный эмпирический материал по срезанию сучьев, расчетный метод для определения усилий, возникающих при резании в зависимости от условий резания, не разработан.

Для осуществления более высокой степени автоматизации поточных линий, которые, наряду со срезанием сучьев, раскряжевывают хлысты, необходимо знать закономерности изменения усилий в процессе срезания сучьев у деревьев разных пород. Такие данные могут служить источником информации о сучковатости очищаемого ствола дерева, в зависимости от которой выполняется программа раскряжевки хлыстов той или иной породы на сортименты. В частности, такого рода автоматические устройства сейчас разрабатываются в МЛТИ. В. Г. Нестеренко установил опытным путем характер изменения усилия в процессе срезания сучьев сосны для резцов с углами резания 30 и 60°. Однако в какой мере полученный им характер изменения усилия для этих резцов соответствует характеру изменения усилия для резцов с другими углами резания и при срезании сучьев не только сосны, но и других пород деревьев не выяснено. Знание же этой закономерности облегчит создание автоматических устройств с программным управлением для раскряжевки хлыстов.

При перерезании стволов деревьев ножом, имеющим клиновидную двухстороннюю симметричную форму, возникают большие усилия резания, что требует не только повышенной мощности привода, но и усложняет конструкцию машины, делая ее более громоздкой. Для снижения усилий необходимо знать, как влияют параметры ножа на процесс перерезания ствола, то есть в каком направлении необходимо изменить конструкцию ножа, чтобы снизить усилие резания. Опытами, проведенными Н. Ф. Курапцевым по перерезанию стволов березы, установлена зависимость усилия резания от толщины ножа, изменяемой в пределах от 6 до 10 мм. Но остается неясным, как изменяется усилие резания при другой толщине ножа, и какое влияние оказывает ширина полотна ножа, испытывающего трение о волокна древесины ствола. В установках США применяются ножи толщиной 25—31 мм («Комбайн Буша», «Роуноук ТФ-1»). Необходима разработка расчетного метода для определения усилий, возникающих при перерезании стволов деревьев, который позволил бы провести количественный и качественный анализ влияния параметров ножа на процесс резания.

В некоторых лесозаготовительных и деревообрабатывающих машинах и инструментах применяется способ резания с углами встречи меньше 90° . Угол встречи образуется направлением режущей кромки резца или ножа и вектором скорости резания. В экспериментальной установке ЦНИИМЭ для перерезания стволов деревьев резание совершается с протяжкой ножа, то есть при угле встречи меньше 90° . Элементы сучкорезных ножей браслетного типа — зачищающая часть также производят резание с углами встречи меньше 90° . Режущие грани зубьев пил в процессе пиления производят надрезание и скалывание, причем надрезание — процесс внедрения элементов зубьев в древесину без образования стружки — во многих случаях совершается с углом встречи 90° . Однако аналитических методов определения усилий, возникающих при резании с углом встречи меньше 90° , не разработано, а опытных данных в этой области недостаточно.

Из опытов по перерезанию сучьев и образцов древесины с круглым поперечным сечением без образования стружки, проведенных Ф. М. Манжосом, Ф. Е. Захаренковым и А. Т. Вагиным, известно, что с уменьшением угла встречи усилие резания снижается. Однако опыты эти не устанавливают возможные пределы изменения усилия резания при углах встречи от 90° до $10 \div 15^\circ$ в зависимости от параметров резца или ножа. А знать эти изменения необходимо для оценки способа резания с углом встречи меньше 90° ножами, имеющими разные параметры.

Э. П. Лицман опытным путем установил, что с уменьшением угла встречи усилие бокового отжима у клиновидного резца возрастает, что понижает устойчивость процесса резания. Но из практики, например, опыта применения спирально-петлевых ножей известно, что если нож снабдить зубчатым венцом, то усилие бокового отжима уменьшается и резание протекает в более благоприятных условиях при пониженных усилиях резания. Следовательно, изучение влияния параметров зубьев ножей на усилие резания и бокового отжима позволит установить, насколько возможно и целесообразно применять способы резания с углами встречи меньше 90° для срезания сучьев и перерезания стволов.

Испытания различных типов машин для срезания сучьев с индивидуальной обработкой стволов, проведенные в 1963 г. (И. В. Воробьев, Н. К. Гилев и др.) показали, что перспективным направлением следует считать статорные машины открытого типа. Было установлено, что применение в сучкорезных машинах ножей предварительной обрезки, срезающих сучья без образования стружки, создает благоприятные условия для работы основных режущих органов. Однако до настоящего времени отсутствуют исследования, содержащие анализ процесса срезания сучьев без образования стружки

различными типами ножей: жесткими и упругими, с углами встречи 90° и менее, с зубьями и без зубьев. Такие данные позволили бы сосредоточить внимание конструкторов на совершенствовании органов для срезания сучьев с наиболее рациональным типом ножа как по геометрическим параметрам, так и способу резания и ограничили бы поток предложений в направлении, имеющем заведомо отрицательное решение.

Следовательно, углубленное изучение процессов резания древесины и сучьев без образования стружки различными резцами и ножами ускорит совершенствование установок для срезания сучьев и перерезания стволов. На решение некоторой части этих задач направлена данная работа.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поставленные в работе задачи, связанные с изучением процессов резания стволовой древесины и сучьев без образования стружки, потребовали решения следующих вопросов:

1. Определение характера распределения среднего удельного давления волокон древесины по передней грани резца в зависимости от глубины резания, соответствующей срезанию крупных сучьев.

2. Определение влияния параметров резца и ножа: угла резания, толщины ножа на усилия, возникающие при резании и качество резания.

3. Исследование влияния угла встречи резца и ножа и параметров зубьев ножей на усилия, возникающие при резании.

4. Выбор рационального типа ножей для срезания сучьев.

При проведении исследований была предпринята попытка раскрыть некоторые общие закономерности процессов резания без стружкообразования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СРЕЗАНИИ СУЧЬЕВ И ПЕРЕРЕЗАНИИ СТВОЛОВ С УГЛОМ ВСТРЕЧИ 90°

Для определения усилий, возникающих при резании без образования стружки, основное внимание было уделено выявлению закономерности распределения среднего удельного давления по передней грани резца. С этой целью в лабораторных условиях были проведены опыты по перерезанию в торец без образования стружки образцов ели с тангентальным направлением волокон вдоль вектора скорости резания шириной 30 мм и глубиной 100 мм клиновидными резцами с углами заострения 20° ; 30° и 40° , задними углами 3° ; 5° и $7,5^\circ$ при скорости резания 17 мм/сек. Опыты показали, что в зоне

резания характер изменения величины среднего удельного давления на переднюю грань резца не зависит от глубины резания. При резании без образования стружки основная работа совершается передней гранью резца. Типовая осциллограмма изменения усилия резания при внедрении клиновидного резца в стволовую древесину показана на рис. 1. На осциллограмме видно, что в зоне резания на участке от начала внедрения резца до точки А сила резания изменяется пропорционально площади контакта передней грани резца с деформируемой древесиной.

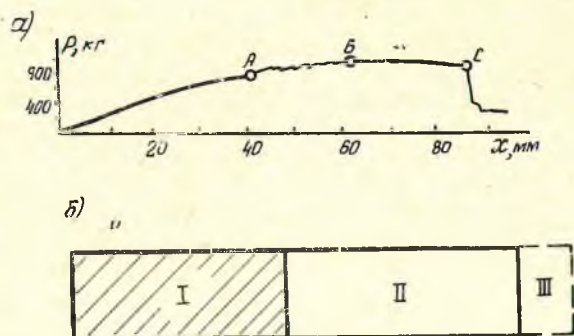


Рис. 1. Характер изменения усилия резания и зоны разрушаемого образца при резании без образования стружки:

a — осциллограмма изменения усилия резания при внедрении клиновидного резца с параметрами $\delta = 33^\circ$, $\alpha = 3^\circ$ в образец из стволовой древесины ели шириной 30 мм, глубиной 100 мм; *A* — начало разрушения образца от изгиба; *B* — предел прочности при изгибе; *C* — окончательное разрушение образца; *б* — I — зона резания; II — зона разрыва; III — зона излома.

Силу резания P определяем по формуле

$$P = P_n + P_3 + P_d, \quad (1)$$

где

P_n — сопротивление надрезания, кг;

P_3 — сопротивление по задней грани, кг;

P_d — сопротивление по передней грани, кг.

Тогда, принимая сумму $P_n + P_3$ незначительной по сравнению с величиной P_d , приходим к выводу, что характер изменения P определяется характером изменения P_d и, следовательно,

$$P_d = KF_d, \quad (2)$$

причем

$$K = \sigma_{в.см} (\sin \delta + f_d \cos \delta), \quad (3)$$

где

P_d — сопротивление резанию по передней грани, кг;

- K — касательное давление со стороны передней грани по всей площади контакта передней грани с деформируемой древесиной, кг/мм^2 ;
- δ — угол резания в градусах;
- $\sigma_{в см}$ — напряжение смятия деформируемой древесины передней гранью резца, кг/мм^2 ;
- f_{δ} — коэффициент трения передней грани резца с деформируемой древесиной.

Если же учитывать, что при резании древесины без образования стружки основная работа совершается передней гранью резца, то силу резания в зоне резания можно определить по формуле

$$P = K_p F_{\delta}, \quad (4)$$

где

- K_p — касательное давление со стороны резца с учетом работы задней грани и надрезания, т. е. сил P , P_n и P_z (K_p незначительно больше, чем K), кг/мм^2 ;
- F_{δ} — площадь контакта передней грани с деформируемой древесиной, мм^2 .

В формуле (4) неизвестная величина K_p определяется опытным путем. Характер распределения среднего удельного давления волокон древесины по передней грани позволяет следующим образом записать формулу для определения усилия отжима по передней грани:

$$P_c = K_0 F_{\delta}; \quad (5)$$

$$K_0 = \sigma_{в см} (\cos \delta - f_{\delta} \sin \delta), \quad (6)$$

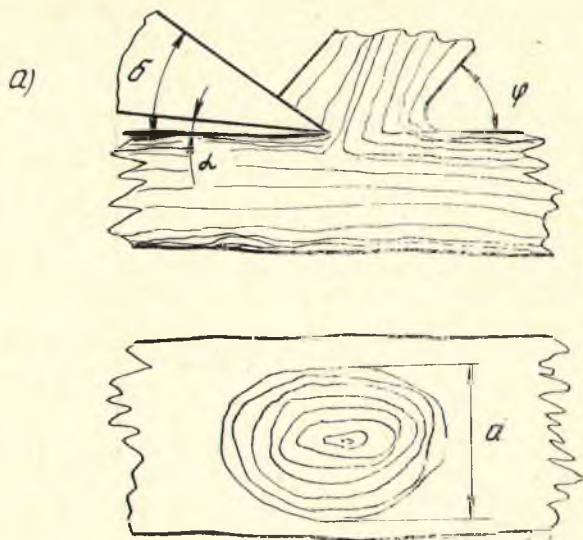
где

- K_0 — коэффициент отжима со стороны передней грани по нормали к направлению усилия резания, кг/мм^2 .

Закономерность распределения среднего удельного давления по передней грани резца при его внедрении на большую глубину, вытекающая из проведенных нами опытов по резанию стволовой древесины, подтверждается и для процесса срезания сучьев. Анализ опытных данных Ф. Е. Захаренкова и В. Г. Нестеренко с помощью формулы (4) показывает, что при срезании сучьев сосны и ели различной толщины в диапазоне от 40 до 90 мм величина K_p стабильна. Это показывает, что среднее удельное давление по передней грани резца в момент достижения максимальной силы не зависит от толщины срезаемых сучьев и есть величина постоянная для данных условий резания. Данные величины K_p для различных условий резания приведены в табл. 1.

Угол резания, градусы	Задний угол, градусы	Величина K_p , кг/мм ²		
		порода срезаемых сучьев		стволовая древесина ели
		сосна	ель	
30	0	0,90—0,98	—	—
35	5	0,97—1,05	1,68	0,57—0,62
60	0	1,47—1,64	—	—

По формуле (4) и методами аналитической и элементарной геометрии установлен характер изменения усилия резания при внедрении резца в сучок, который подобен характеру изменения усилия при срезании сучьев различных пород и близок к прямолинейному. Характер изменения усилия резания, полученный аналитическим путем, подтверждается опытами В. Г. Нестеренко по срезанию сучьев сосны (УЛТИ, 1958 г.), Н. А. Шипилина по срезанию сучьев ели (Труды ЦНИИМЭ, вып. 79, 1967 г.) и другими. Сопоставление расчетных данных, полученных по формуле (4), с опытными данными В. Г. Нестеренко приведено на схеме (рис. 2 б). На схе-



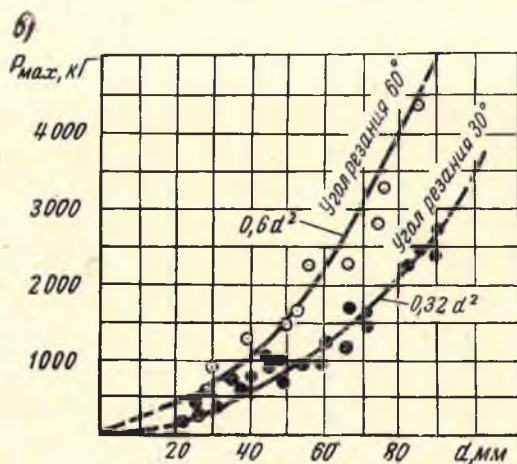
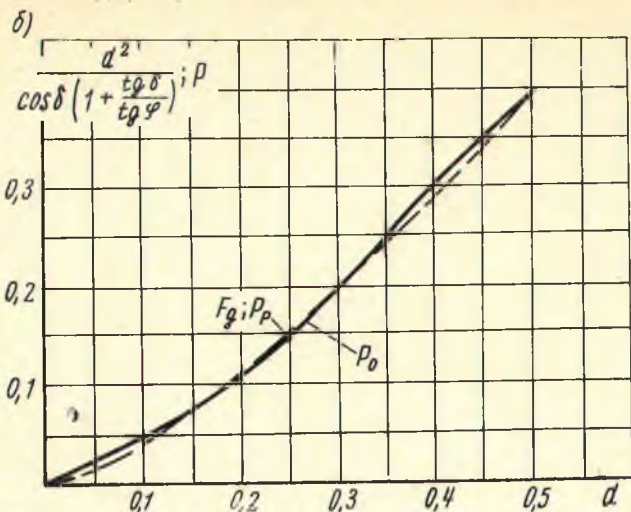


Рис. 2. Изменение усилия при срезании сучьев с углом встречи 90° :

a — схема внедрения реза в сучок; *б* — сопоставление характера изменения усилия резания, полученного аналитическим путем, с опытными данными В. Г. Нестеренко; *в* — изменение максимального усилия резания в зависимости от диаметра сучка, полученного аналитическим путем и по опытными данными В. Г. Нестеренко.

ме видно, что сила резания изменяется пропорционально изменению величины F_d , что также подтверждает справедливость установленного характера распределения среднего удельного давления по передней грани реза при срезании сучьев.

Сучья расположены на стволе с разными углами враща-
ния. С целью удобства проведения аналитических расчетов
по формуле (4) нами выведена формула для определения
величины F_d при внедрении резца до центра сучка с учетом
угла его вращаения в ствол дерева:

$$F_d = \frac{\pi d^2}{8 \cos \delta \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi}\right)}, \quad (7)$$

где

d — диаметр сучка, мм;

δ — угол резания в градусах;

φ — угол вращаения сучьев в ствол дерева в градусах.

Если излом сучка наступает при внедрении резца до центра
сучка, то максимальное усилие резания можно определять
по формуле

$$P_{max} = \frac{\pi d^2}{8 \cos \delta \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi}\right)} K_p. \quad (8)$$

Для практического пользования в инженерной практике
нами получена более простая формула для определения мак-
симальной величины усилия резания, которая справедлива
не только для случая, когда максимальное усилие резания
возникает при внедрении резца до центра сучка, но и в лю-
бом месте его излома

$$P_{max} = Gd^2, \quad (9)$$

где

G — константа, зависящая от угловых параметров ре-
за (угла резания, заднего угла, породы срезаемых
сучьев и угла их вращаения), кг/мм².

Если излом сучка наступает в момент внедрения резца до
его центра, то величину G можно определять по формуле

$$G = \frac{\pi K_p}{8 \cos \delta \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi}\right)}. \quad (10)$$

Величины G , вычисленные для разных условий резания
по формуле (10), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Угол резания, градусы	Задний угол, градусы	Величина G , кг/мм ²	
		сосна	ель
30	0	0,32	—
35	5	0,33	0,79
60	0	0,60	—

Величины G , приведенные в табл. 2, дают возможность определить по формуле (9) максимальные усилия резания P_{max} , возникающие при срезании сучьев разных диаметров. Правильность выведенной формулы (9) подтверждается результатами опытов, проведенных В. Г. Нестеренко (УЛТИ), Ф. Е. Захаренковым (ЛТА), Н. А. Шипилиным и Д. М. Рыбыковым (ЦНИИМЭ). Сравнение опытных данных В. Г. Нестеренко с расчетными, полученными по формуле (9), показано на рис. 2 в.

Задачей дальнейших экспериментов является определение величин K_p и G для разных условий резания.

При оценке различных типов ножей для срезания сучьев необходимы данные, характеризующие влияние угловых и линейных параметров на качество и усилие резания. Нами проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния угла резания и толщины ножа на характер изменения зоны резания, устойчивость ножа в плоскости резания и силу резания. В лабораторных условиях при скорости резания 17 мм/сек перерезались без образования стружки образцы ствольной древесины ели шириной 30 мм, глубиной 100 мм ножами толщиной от 4 до 26 мм, имеющими угол заострения 20, 30 и 40°, задний угол 3, 5 и 7,5°. Анализ экспериментов позволил установить следующее.

С увеличением угла резания и толщины ножа зона резания уменьшается. Из этого следует, что при устойчивой работе ножа с уменьшением угла резания и толщины ножа качество резания повышается, так как величина излома сучка при этом будет меньше. Однако с уменьшением угла резания и толщины ножа устойчивость процесса резания может понизиться. Упругие ножи при резании испытывают затягивание и неустойчивы в плоскости резания. Поэтому применение упругих ножей для срезания сучьев нецелесообразно. В сучкорезных машинах с двухступенчатой очисткой стволов от сучьев, где нагрузка на вторую зачищающую ступень меньше, чем на первую, для повышения качества резания рационально применять на второй, зачищающей ступени, ножи с меньшим углом резания.

Между увеличением толщины ножа и максимальной величиной усилия резания нет прямо пропорциональной зависимости. Для ножей с углом резания $\delta = 35^\circ$ увеличение толщины ножа с 4 до 26 мм приводит к увеличению максимального усилия резания всего в два раза. Увеличение же толщины ножа с 9 до 26 мм приводит к увеличению усилия резания только на 15—20%. Толщина сучкорезных ножей для предварительной обрезки в установке ПСЛ равна 24 мм и дальнейшее уменьшение толщины этих ножей нецелесообразно, так как это может снизить их прочность и устойчи-

вость в работе, в то же время заметного уменьшения усилия резания в этом случае не произойдет.

В начальной стадии резания без образования стружки происходит прессование древесины задней гранью. Это свидетельствует о том, что при резании характер распределения среднего удельного давления древесины по задней грани аналогичен характеру распределения среднего удельного давления по передней грани. Можно также предполагать, что в дальнейшем зона прессования древесины по задней грани сменяется зоной упругого восстановления волокон древесины. Здесь эпюра нагрузки на заднюю грань является треугольной. В зависимости от характера работы задней грани нами выведены формулы сопротивления и отжима по задней грани.

С увеличением жесткости инструмента влияние задней грани на сопротивление резанию снижается.

В диссертации дана формула для определения силы резания при перерезании стволов в зависимости от параметров ножа.

При выводе формулы для определения усилий, возникающих при перерезании стволов ножом, имеющим клиновидную двухстороннюю симметричную форму, нами выдвинута гипотеза о том, что напряжение смятия волокон древесины гранями полотна ножа не зависит от его толщины и глубины внедрения. Гипотеза эта вытекает из свойств древесины, которая является пористым, упруго-пластическим материалом. Так же как при внедрении в древесину клиновидной части резца в зоне резания среднее удельное давление не зависит от глубины резания, так и при внедрении в древесину полотна ножа среднее удельное давление древесины на грани полотна не зависит от его толщины, то есть коэффициент трения не зависит от толщины полотна ножа. Поэтому усилие резания при перерезании стволов ножом, имеющим клиновидную двухстороннюю симметричную форму, может быть определено по следующей полученной нами формуле

$$P = P_n + 2KF_d + 2K_6F_n, \quad (11)$$

где

P_n — сопротивление надрезания по режущей кромке лезвия, $кГ$;

F_d — площадь контакта клиновидной грани ножа с деформируемой древесиной, $мм^2$;

F_n — площадь контакта плоскости полотна ножа с древесиной, $мм^2$;

K_6 — коэффициент упругого восстановления волокон древесины, не зависящий от толщины полотна ножа и глубины внедрения, $кГ/мм^2$.

Анализ с помощью формулы (11) данных экспериментов по перерезанию стволов березы, полученных в ЦНИИМЭ,

подтвердил, что коэффициент трения волокон древесины о плоскости полотна ножа не зависит от его толщины. Анализ по формуле (11) опытных данных Н. Ф. Курапцева позволил установить величину K , которая при перерезании березы ножом, имеющим общее заострение $2\delta = 30^\circ$, равна $0,44 \text{ кг/мм}^2$. Для этих же условий резания определено, что $K_b = 0,159 \text{ кг/мм}^2$. Было также установлено, что влияние упругого восстановления волокон, вызывающего трение полотна ножа о древесину, очень существенно. Для ножа, имеющего $2\delta = 30^\circ$, толщину 10 мм , на трение полотна ножа о древесину при перерезании ствола приходится примерно 50% всей величины усилия резания.

Для снижения усилия резания при перерезании стволов необходимо уменьшить влияние на него упругого восстановления древесины, вызывающего большие силы трения полотна ножа о ствол. Это может быть достигнуто как за счет уменьшения толщины полотна ножа по сравнению с толщиной лезвия, так и, главным образом, за счет уменьшения ширины полотна ножа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ СРЕЗАНИИ СУЧЬЕВ И ПЕРЕРЕЗАНИИ СТВОЛОВ С УГЛОМ ВСТРЕЧИ МЕНЬШЕ 90°

Нами проведены исследования влияния угла встречи и параметров инструментов различной конструкции (резцы и ножи с зубьями и без зубьев) на продольные усилия P_x и боковые P_y , возникающие при срезании сучьев и перерезании стволов.

Направление сил P_x и P_y показано на схеме (рис. 3а), из которой видно, что боковая сила P_y в данном расположении вызывает отжим ножа, в противоположном — затягивание

Аналитическим путем установлено, что если максимальная величина усилия резания P_x при перерезании круглого поперечного сечения возникает в момент внедрения реза до центра сечения, то в зависимости от угла встречи β продольная сила P_x может быть определена по формуле

$$P_x = C_1 \sin \beta + D_1, \quad (12)$$

где

C_1 и D_1 — константы для данных условий резания.

Для определения силы P_x , возникающей в процессе резания, формула (12) справедлива не только при внедрении реза до центра сечения, но и в любом его положении при одинаковом заглублении реза в сучок для разных углов встречи β . Определение же максимальной величины P_x по формуле (12) возможно, если площадь излома образца круглого се-

чения от изгиба его передней гранью резца не меняется с изменением угла встречи β .

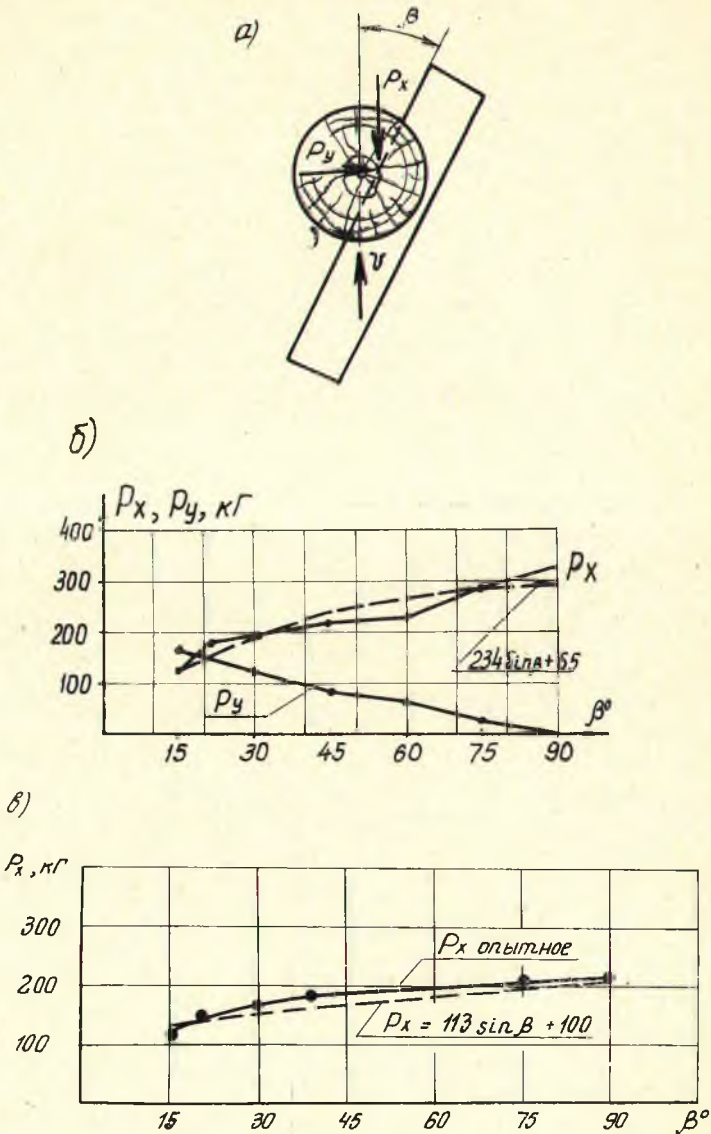


Рис. 3. Характер изменения усилия при срезании сучьев с углом встречи меньше 90° :

а — схема работы ножа с углом встречи меньше 90° ; б — влияние угла встречи на усилие резания и боковой отжим; в — изменение максимального усилия резания в зависимости от угла встречи β полученное аналитическим путем и по опытам А. Т. Вагяна.

Анализ величин C_1 и D_1 в зависимости от угла резания и коэффициента трения волокон древесины с переднюю грань реза позволил установить, что с уменьшением угла резания и увеличением коэффициента трения влияние угла встречи на величину P_x снижается. Для резцов с углом резания $\delta < 20^\circ$ при перерезании сучьев изменение угла встречи β на всем диапазоне от 90° до 0 не может привести к уменьшению усилия резания более чем в два раза.

В аналогичных условиях для резцов и ножей без зубьев, изменение максимальной величины бокового усилия отжима P_y составит

$$P_y = C_1 \cos \beta - C_2 \sin \beta, \quad (13)$$

где

C_2 — константа для данных условий резания (при $\beta = 90^\circ C_2 = 0$).

В формуле (13) величина C_2 значительно меньше C_1 , поэтому кривая P_y при перерезании образца с круглым поперечным сечением будет напоминать косинусоиду:

$$\text{при } \beta = 0^\circ P_y = P_{y \max};$$

$$\text{при } \beta = 90^\circ P_y = 0.$$

Ножи с зубьями характеризуются угловыми и линейными параметрами, изменение которых оказывает влияние на процесс резания. Принятые обозначения параметров зубьев ножа приведены на схеме (рис. 4). Для определения влияния параметров зубьев ножа на процесс резания с углами встречи меньше 90° нами разработан аналитический метод исследования усилий P_x и P_y , возникающих при срезании сучьев и перерезании стволов.

Рассмотрим процесс резания стволовой древесины и сучьев ножом с зубьями.

Усилие резания ножа с зубьями складывается из сопротивления внедрению суммы резцов (зубьев), ориентированных соответствующим углом встречи, и сопротивления, возникающего по граням полотна ножа.

При изучении работы граней каждого зуба в отдельности выведены следующие формулы для определения усилий P_x и P_y , возникающих при полном внедрении в древесину зубьев ножа, имеющих симметричную боковую заточку передних граней и впадин:

$$P_x = \frac{\lambda n}{\sin \omega_N} \left[\left[\sin (\Theta - \beta) \frac{h_\beta}{\sin \Theta} + \sin \beta b_\beta \right] A + \left[\left(\frac{h_\beta}{\sin \Theta} + b_\beta \right) E \right] \right]; \quad (14)$$

$$P_y = A \frac{\lambda n}{\sin \omega_N} \left[b_\beta \cos \beta - \frac{h_\beta}{\sin \Theta} \cos (\Theta - \beta) \right], \quad (15)$$

1892.13 90

где

- λ — толщина ножа, мм;
- n — число зубьев, участвующих в резании;
- b_{β} и h_{β} — рабочие участки граней зубьев по впадине и высоте, участвующие в резании, мм;
- A и E — постоянные величины для данных условий резания, зависящие от $\sigma_{в.с.м}$ и f_0 по граням зубьев ножа и ω_N .

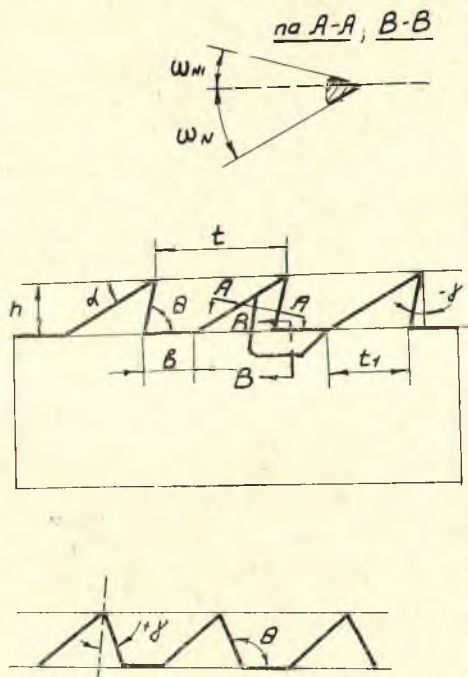


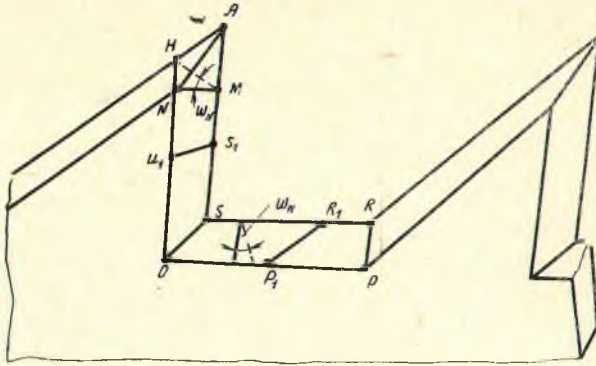
Рис. 4. Принятые обозначения параметров исследуемых ножей:

h — высота зубьев; t — шаг зубьев; t_1 — основной шаг зубьев; a — основание впадины; θ — угол наклона передней грани; γ — передний угол; α — задний угол; ϕ_{N1} — угол боковой заточки зубьев; ω_{N1} — отрицательный угол боковой заточки зубьев.

При более точном определении P_x и P_y в формулы (14) и (15) следует подставлять величины $h_{\beta,ср}$ и $b_{\beta,ср}$, показанные на схеме (рис. 5).

Формулы (14) и (15) справедливы и при резании ножом, имеющим одностороннюю боковую заточку граней зубьев, когда $\phi_{N1} = 0$, но здесь при более точных расчетах необходимо учитывать влияние задней грани аналогично процессу, протекающему при резании клиновидным резцом. По формуле (14) определяется сопротивление в направлении резания, возникающее только при внедрении зубьев ножа. Суммарное

сопротивление резания должно учитывать и силу трения полотна ножа о волокна древесины.



Фиг. 5. Схема для определения геометрических параметров зубьев ножа:

$$\begin{aligned}
 b &= SR; \quad b_{\beta} = SR_1; \quad b_{cp} = \frac{SR + OP}{2}; \quad b_{\beta cp} = \frac{SR_1 + OP_1}{2}; \\
 h &= SA; \quad h_{\beta} = S_1A; \quad h_{cp} = \frac{SA + ON}{2}; \quad h_{\beta cp} = \frac{S_1A + U_1N}{2}; \\
 \Rightarrow NMH &= \omega_N; \quad NM = PR = \frac{\lambda}{\sin \omega_N}; \quad \lambda = NH.
 \end{aligned}$$

Для ножа, имеющего симметричную боковую заточку передних граней и впадин, определение P_y по формуле (15) соответствует полному определению усилия бокового отжима, затягивания при резании ножом с зубьями.

Анализ изменения P_x и P_y в зависимости от параметров зубьев ножей и угла встречи β по формулам (14) и (15) позволил установить следующее:

1. Величина силы резания P_x в зависимости от высоты зубьев h (изменяемой в пределах от 3 до 15 мм) при $b = 6$ мм, $\Theta = 70^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 30^\circ$ изменяется незначительно и будет минимальной при $h = 7-11$ мм.

2. Наибольшее влияние на силу резания P_x оказывает угол встречи β , с уменьшением которого P_x независимо от параметров зубьев ножа непрерывно уменьшается.

3. Изменение параметров зубьев: b , h , Θ позволяет получить значение силы P_y , вызывающей отжим или затягивание.

4. Для тонких ножей существенную долю во всей величине усилия должно составить сопротивление, возникающее по передней грани полотна ножа, поэтому большой разницы в величине усилия резания при работе тонких ножей с различной геометрией зубьев и без зубьев не будет. Но влияние параметров зубьев тонкого ножа на изменение величины P_y сохраняется.

Ранее было установлено, что ножи толщиной 4 мм при резании с углом встречи 90° позволяют снизить усилия резания по сравнению с жесткими ножами примерно в два раза, во столько же возрастает зона резания. Однако при резании с углом встречи 90° нож неустойчив в плоскости резания.

Анализ сил, действующих на нож, показывает, что с уменьшением угла встречи устойчивость ножа при резании возрастает. Это подтверждается тем, что при срезании сучьев спирально-петлевыми ножами длиной 1200 мм, которые, не имея жесткого крепления по концам, при наличии у отдельных зубьев отжимающих граней копируют ствол дерева без зарезания. С уменьшением длины жесткость ножей возрастает.

Целью экспериментальных исследований было изучить процесс резания в торец без образования стружки стволовой древесины и сучьев с углами встречи меньше 90° . Для опытов были выбраны ножи с различными режущими элементами толщиной 4 мм, шириной 60 мм и длиной 400 мм, жестко закрепленные по концам.

При определении влияния геометрических параметров ножей без зубьев и с зубьями в каждой серии опытов угол их боковой заточки $\omega_{\text{Л}}$ принимался одинаковым и составлял 30° или 33° , величина $\omega_{\text{Л1}} = 0$. Нож закреплялся в измерительной головке так, чтобы плоскость полотна ножа совпадала с плоскостью действия приложенных сил.

Опыты проводились в два этапа: на первом этапе перерезались образцы из стволовой древесины и на втором — сучья.

При проведении исследований приняты следующие постоянные факторы:

а) размер полотна исследуемых ножей (толщина — 4 мм, ширина — 60 мм, длина — 400 мм);

б) материал ножей (сталь 657, термически обработанная до твердости $HRC = 44-46$);

в) радиус затупления режущей кромки ножей ($\rho = 20 \div 25$ мк);

г) скорость резания ($V = 0,017$ м/сек);

д) жесткость ножевой системы (режущий инструмент, станция).

е) размер образцов стволовой древесины ели (ширина — 30 мм, длина — 100 мм; образцы одинаковой твердости вырезались для каждой серии опытов из одного кряжа с влажностью $W = 50 \div 70\%$);

ж) влажность образцов сучьев ($W = 50 \div 70\%$);

з) направление волокон образцов древесины — тангентальное вдоль вектора скорости резания.

В качестве переменных факторов варьировались:

а) положение инструмента по отношению к срезаемому

образцу (у ножей без зубьев $\beta = 90 \div 15^\circ$, у ножей с зубьями $\beta = 29 \div 10^\circ$);

б) конструкция режущих элементов ножей (без зубьев и с зубьями);

в) параметры зубьев ($h = 3 \div 15$ мм, $b = 1,2 \div 16$ мм, $\Theta = 60 \div 110^\circ$).

Составляющие усилий в плоскости резания, усилие резания P_x , усилие боковой составляющей P_y регистрировались осциллографом МПО-2. При обработке экспериментальных данных учитывались лишь максимальные значения усилия резания P_x и соответствующие им боковые усилия P_y . Для каждого опыта производилось 5—8 наблюдений, что обеспечивало показатель точности, не превышающий $\pm 5\%$.

Проведенные исследования показали следующее:

1. При срезании сучьев ножом без зубьев с уменьшением угла встречи усилие резания уменьшается в функции $P_x = C_1 \sin \beta + D_1$, что подтверждает справедливость формулы (12), а усилие бокового отжима P_y непрерывно возрастает. Характер изменения усилия резания и бокового отжима при срезании сучьев сосны диаметром 38 мм ножом с углом резания 33° показан на схеме (см. рис. 3 б). Формула (12) и вытекающий из нее вывод о влиянии угла резания на пределы изменения P_x в зависимости от β подтверждены и опытами А. Т. Вагина по перерезанию тонкомерных стволов березы диаметром 25 мм клиновидным резцом с углом резания 20° и задним углом 5° . Сопоставление экспериментальных и расчетных данных, полученных по формуле (12), приведено на схеме (см. рис. 3 в).

2. У ножа с зубьями с уменьшением угла встречи усилие резания непрерывно уменьшается. При срезании сучьев ели диаметром 40 мм с уменьшением β от 29 до 10° величина P_x изменилась в 2,3 раза. При перерезании стволов влияние угла встречи на усилие резания снижается вследствие возрастания сил трения полотна ножа о ствол, возникающего от упругого восстановления волокон древесины. Направление бокового отжима ножа зависит от параметров зубьев, с изменением которых сила P_y вызывает отжим ножа или затягивание. Данные опытов близко совпадали с расчетными данными, полученными по формуле (15).

3. Ножи при резании испытывают затягивание. С уменьшением угла встречи затягивание ножа без зубьев в направлении резания уменьшается; при $\beta = 30^\circ$ увеличение угла резания вследствие затягивания составляет при перерезании образцов древесины шириной 30 мм, глубиной 100 мм примерно $1,5^\circ$. У ножа с зубьями из-за уменьшения поперечных нагрузок на нож устойчивость больше, чем у ножа без зубьев.

4. В зависимости от параметров зубьев (h , b , Θ) величина P_x при срезании сучьев толщиной 4 мм изменяется в пределах до 25%.

5. При перерезании сучьев ножами лучшие результаты достигнуты при следующих параметрах зубьев: $\Theta = 75-80^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $h = 7-11$ мм, $b = 6-8$ мм, что подтверждают выводы, полученные по формуле (4), о влиянии высоты зубьев на силу резания.

6. Для перерезания стволов деревьев ножами, имеющими двустороннюю симметричную боковую заточку режущих граней, могут быть рекомендованы следующие параметры зубьев: $\Theta = 75^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $h = 11$ мм, $b = 8$ мм.

АНАЛИЗ ТИПОВ НОЖЕЙ ДЛЯ СРЕЗАНИЯ СУЧЬЕВ

Более полная оценка типов ножей для срезания сучьев возможна только при учете всех факторов, влияющих на процесс их работы в машине. На основе наблюдений за работой ножей в производственных условиях Шуйско-Виданского ЛПХ Карельской АССР (1963 г.), Оленинского ЛПХ ЦНИИМЭ Новгородской области и специальных лабораторных работ проведено сравнение основных показателей жестких, упругих и спирально-петлевых ножей, ножей без зубьев и с зубьями при различных углах встречи β от 10 до 90°. Оценка типа режущего органа производилась не только по данным усилий, возникающих при резании, но и по качеству срезания сучьев, конструктивным особенностям ножей при постановке их на машину, устойчивости в работе. Рассмотрим последовательно характеристики различных типов и ножей.

Плавающие V-образные ножи в установке ПСЛ-2 и многошарнирные ножи браслетного типа по устойчивости и усилиям, возникающим в процессе резания, относятся к типу жестких ножей. В сравнении с упругими ножами толщиной 4 мм жесткие ножи толщиной 26 мм дают увеличение усилия резания только в два раза. Уже при увеличении толщины ножа до 9 мм разница между максимальными усилиями в сравнении с ножом толщиной 26 мм составляет всего лишь $15 \frac{1}{4}$ 20%. В то же время нож толщиной 9 мм менее устойчив в работе. Поэтому целесообразно применять жесткие ножи.

Рассматривая изменение усилий при различных углах встречи, можно установить, что при углах резания $\delta \leq 20^\circ$ уменьшение угла встречи β от 90 до 15° даст максимальное снижение усилия в 1,8 раза. Уменьшение же угла встречи до 45° снижает усилие всего на 15—20%. С уменьшением угла резания разница в усилиях еще более снижается.

Уменьшение угла встречи до 15° вызовет значительное продольное увеличение базы для установки ножей в машине, вследствие увеличения длины ножей в 3,8 раза, что внесет существенные конструктивные неудобства в работу сучкорезной установки. Продольное увеличение базы машины приведет к ухудшению процесса очистки стволов от сучьев, так как сучья деревьев с малой бессучковой длиной ствола не попадут в зону действия сучкорезных ножей. Уменьшение же угла резания или применение комбинированного реза с двойным углом заточки компенсирует снижение усилия, достигаемого с уменьшением угла встречи без увеличения рабочей длины ножей и продольной базы машины.

Применение ножей с зубьями при срезании сучьев по сравнению с ножами без зубьев не даст существенного уменьшения усилия резания, а снизит только боковой отжим. Но это также не решает вопроса об уменьшении рабочей длины ножей и усложняет конструкцию.

Применение спирально-петлевых ножей также не дает существенного уменьшения усилия резания и снижения максимальной мощности, потребляемой установкой. Сравнение данных, полученных нами при производственных испытаниях ножей в машине АПС-2 (Шуйско-Виданский ЛПХ Карельской АССР, 1963 г.), и данных испытаний машины РОП-3 (Оричевское торфопредприятие, Кировская обл.) с усилиями, возникающими при срезании сучьев жесткими ножами, показывает, что требуемое максимальное усилие протяжки для спирально-петлевых ножей меньше, примерно на 20—25%, по сравнению с жесткими. Объясняется это тем, что спирально-петлевые ножи затрачивают значительные усилия на трение с поверхностью ствола и, кроме этого, при зарезах, хотя бы частичных, в ствол дерева сопротивление значительно возрастает. Спирально-петлевые ножи нашли применение в машине РОП-3 на мелколесье при разработке торфяных площадей. Однако все попытки внедрить их в лесной промышленности оказались безуспешными. При работе они часто выходили из строя, к тому же по качеству резания они уступают жестким ножам браслетного типа. Нами проведено улучшение геометрических параметров зубьев, марки стали и режима термообработки спирально-петлевых ножей. Но это не привело к изменениям их основных свойств и не позволило эффективно использовать на обрезке сучьев в лесной промышленности.

Сравнение спирально-петлевых и плоских упругих ножей с жесткими ножами показывает, что любая другая форма ножей, не обладающих жесткостью в плоскости резания, как например, набор резцов, размещенных по винтовой на стволе без жесткого их крепления в основании, нецелесообразна для

срезания сучьев. Наиболее перспективным типом ножей для срезания сучьев являются жесткие ножи.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования процессов резания стволовой древесины и сучьев без образования стружки позволили установить следующее:

1. В зоне резания средняя величина напряжений смятия волокон древесины по передней грани резца не зависит от глубины его внедрения и является величиной постоянной для данных условий резания.

2. Усилие резания при внедрении резца в стволовую древесину и древесину сучьев в зоне резания пропорционально площади контакта передней грани с деформируемой древесиной и может быть определено по полученной нами формуле

$$P = K_p F_d.$$

3. Характер изменения усилия резания у сучьев различных пород по мере внедрения резца в сучок будет подобен и близок к прямолинейному.

4. Максимальная величина усилия резания при срезании сучьев с учетом их диаметра d и угла вrostания их в ствол дерева φ , а также угла резания δ , если излом наступает при внедрении резца до центра сучка, определяется по полученной нами формуле

$$P_{max} = \frac{\pi d^2}{8 \cos \delta \left(1 + \frac{\lg \delta}{\lg \varphi}\right)} K_p.$$

Для практического пользования в инженерной практике нами получена более простая формула, которая справедлива не только для случая, когда максимальное усилие резания возникает при внедрении резца до центра сучка, но и в любом месте его излома

$$P_{max} = Gd^2.$$

5. При перерезании стволов ножом, имеющим клиновидную двухстороннюю симметричную форму, значительная часть усилия резания затрачивается на трение полотна ножа о ствол.

Коэффициент трения полотна ножа о древесину не зависит от его толщины и глубины внедрения. Сила резания определяется по полученной нами формуле (11). Снижение силы резания может быть достигнуто как за счет уменьшения толщины полотна ножа, по сравнению с толщиной лезвия,

так и, главным образом, за счет уменьшения ширины полотна ножа.

6. Положение инструмента по отношению к срезаемому сучку оказывает существенное влияние на величину максимального усилия резания. При срезании сучьев ножами с зубьями и без зубьев усилие резания с уменьшением угла встречи непрерывно уменьшается, усилие бокового отжима ножа без зубьев непрерывно возрастает, а у ножа с зубьями специальной формы вместо бокового отжима появляется затягивание, которое уменьшает поперечную нагрузку на нож в плоскости резания. При перерезании стволов влияние угла встречи на усилие резания снижается из-за влияния возрастающих сил трения полотна ножа о ствол.

Для определения влияния параметров зубьев на величину усилия резания и усилия бокового отжима, затягивания нами выведены формулы (14) и (15). Данные, полученные с помощью этих формул, подтверждены экспериментами.

7. Экспериментами подтвержден вывод, полученный аналитическим путем о том, что при срезании сучьев ножами толщиной 4 мм с зубьями и без зубьев большой разницы в величине усилия резания нет. В зависимости от параметров зубьев ножей: высоты, шага, угла наклона передней грани, усилие резания изменяется максимум до 25%.

8. Для перерезания стволов деревьев пожом для безопилочного поперечного резания древесины* могут быть рекомендованы следующие параметры зубьев: $\theta = 75^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $h = 11$ мм, $b = 8$ мм. При этом зубья ножей должны иметь двухстороннюю и симметричную боковую заточку передних граней и впадин.

9. Спирально-петлевые ножи как режущие органы эффективны только в машине системы РОП-3, применяемой для очистки от деревьев торфяных площадей, расчистки зон затопления или для строительства различных гидротехнических сооружений. Однако и в машине РОП-3 целесообразно заменить спирально-петлевые ножи жесткими ножами браслетного типа.

10. Наиболее перспективными инструментами для срезания сучьев являются жесткие ножи, которые устойчивы и надежны в работе, обеспечивают копирование поверхности ствола и не требуют существенного увеличения усилия при срезании сучьев по сравнению со спиральными ножами и другими режущими органами.

В сучкорезных машинах с двухступенчатой очисткой стволов от сучьев, где нагрузка на вторую зачищающую ступень меньше, чем на первую, для повышения качества резания

* Конструкция ножа предложена автором.

рационально применять на второй зачищающей ступени ножи с меньшим углом резания, чем на первой. Применение в машинах упругих ножей и ножей для срезания сучьев с углом встречи меньше 90° нецелесообразно.

**Основные положения диссертации опубликованы в
следующих работах:**

1. Е. В. Кириллов. Исследование некоторых параметров спирально-петлевых сучкорезных ножей. Труды ЦНИИМЭ, сб. XXX, М., 1961.

2. Е. В. Кириллов. Определение усилий, возникающих при срезании сучьев и перерезании стволов. «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство» № 19, ЦНИИТЭИлеспром, 1965.

3. Е. В. Кириллов. Нож для безопилочного поперечного резания древесины. «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство» № 28, ЦНИИТЭИлеспром, 1963.

4. Е. В. Кириллов. Исследование некоторых параметров инструментов для перерезания сучьев и древесины без образования стружки при углах встречи меньше 90° . Труды ЦНИИМЭ, сб. 69, М., 1965.

5. Е. В. Кириллов. Определение усилий, возникающих при перерезании стволов деревьев ножом с зубчатым лезвием. «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство» № 2, ЦНИИТЭИлеспром, 1966.

6. Нож Кириллова Е. В. для безопилочного поперечного резания древесины. Описание изобретения авторского свидетельства № 180011 от 11 мая 1964 г. Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР, 6, 1966.

7. Е. В. Кириллов. Метод определения усилия резания, возникающего при срезании сучьев и перерезании стволов. Труды ЦНИИМЭ, сб. 71, М., 1966.

8. Е. В. Кириллов. Изменение усилия резания при внедрении в древесину клиновидного резца. «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство» № 20, ЦНИИТЭИлеспром, 1966.

9. Е. В. Кириллов. Разбор аналитического способа Ф. Е. Захаренкова по определению максимального сопротивления резанию при силовом методе обрезки сучьев. Лесной журнал № 5, Известия высших учебных заведений, Архангельск, 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
Задачи исследований	7
Спределение усилий, возникающих при срезании сучьев и перерезании стволов с углом встречи 90°	7
Определение усилий, возникающих при срезании сучьев и перерезании стволов с углом встречи меньше 90°	15
Анализ типов ножей для срезания сучьев	22
Выводы	24

Бумага 60×92
Тираж 150

Подписано к печати 18/IV-67 г.

Печ. л. 1,75

Л-83679
Заказ 63

Типография ЦНИИМЭ