

674  
Ж42

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 674.023

**Жданович Юрий Владимирович**

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАМНЫХ ПИЛ  
ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ**

05.21.05 – Дреvesиноведение, технология и оборудование  
деревообработки

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 2004

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Фридрих А.П. (УО «БГТУ»), кафедра деревообрабатывающих станков и инструментов)
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, Алифанов А.В. (ФТИ НАНБ, заведующий отделом объемных гетерогенных систем);  кандидат технических наук, Янушкевич А.А. (УО «БГТУ»), заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств)
Оппонирующая организация	ОАО «Борисовский ДОК»

Защита состоится 28 июня 2004 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу: 220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

Телефон ученого секретаря совета: 227-83-41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 27 мая 2004 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций



С.П. Мохов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одним из основных условий повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции с минимальными энергозатратами в деревообрабатывающей промышленности является внедрение в производство современного инструмента, обладающего повышенными стойкостными характеристиками, и разработка рациональных режимов их эксплуатации. Оптимизация режимов механической обработки древесины является одной из наиболее актуальных задач. Ее роль особенно возрастает для станков с программным управлением, обеспечивающих регулирование режимов резания, а также при объединении оборудования в один автоматизированный комплекс, автоматическую линию.

Использование для этой цели результатов ранее проведенных исследований, по известным литературным источникам, также не дает желаемого результата, несмотря на то, что процесс пиления древесины изучен достаточно глубоко и всесторонне. Это связано с тем, что условия проведения экспериментов, средства измерений и принятые методики у каждого исследователя имеют отличия и, как следствие, результаты измерений выходных показателей имеют значительные расхождения.

Не менее важным в решении данной проблемы является разработка моделирования процесса затупления режущих элементов инструмента. Математическое описание затупляемости режущих элементов позволяет выполнять расчеты состояния резов в определенные моменты их эксплуатации с целью выдачи информации на управляемый комплекс процесса резания, а также решать вопросы работоспособности пил при проектировании новых конструкций и устанавливать режимы заточных технологических операций при восстановлении режущей способности резов. Кроме этого, разработка предложений по повышению стойкости рамных пил и установление количественных показателей режимов их эксплуатации является достаточно востребованным промышленностью.

В связи с вышеизложенным проведение исследований и разработка математического описания процесса пиления древесины рамными пилами, его опытно-промышленная проверка являются актуальным.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Исследования выполнены в соответствии с заданиями тем: ГБ-20-042 «Проведение экспериментальных и теоретических исследований по повышению работоспособности рамных пил для раскроя древесины», БС 21-033 «Разработка раздела типажа дереворежущих инструментов изготавливаемых предприятиями лесного комплекса», ГБ 8-01 «Разработка рациональных режимов эксплуатации рамных пил» Белорусского государственного технологического университета в рамках Республиканской научно-технической программы «Инструмент», и соответствуют одному из

577ар

Беларускага дзяржаўнага  
навуковага ўніверсітэта

научных направлений кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов.

**Цель и задачи исследований.** Целью работы является разработка математических моделей, описывающих зависимость силовых и стойкостных показателей от основных факторов процесса пиления древесины рамными прочненными и неупрочненными пилами.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- установить физико-механические особенности процесса пиления рамными пилами;
- выявить целесообразность использования существующих расчетных методов по определению рациональных режимов резания при пиление рамными пилами;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований по отсеиванию малозначимых переменных факторов на силовые показатели и создать экспериментальную установку для реализации методической сетки опытов;
- осуществить реализацию методической сетки по отсеву малозначимых факторов и обработке опытных данных с обоснованием проведения исследований по силовым и стойкостным показателям;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований по установлению силовых и стойкостных показателей с учетом наиболее влияющих факторов;
- выполнить, на основании результатов исследований, моделирование процессов резания по силовым показателям и стойкости режущих элементов в зависимости от процентного содержания хрома в инструментальных сталях и от гальванического хромирования рабочей поверхности рамных пил с микроалмазными добавками;
- произвести экспериментальную проверку работоспособности рамных пил, прошедших стадию повышения стойкости методом гальванического хромирования с алмазными добавками, в производственных условиях.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются рамные пилы повышенной стойкости, а предметом исследований – режимы их эксплуатации.

**Методология и методы проведенного исследования.** Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований с использованием математического планирования эксперимента и статистического анализа полученных результатов с опытно-промышленной проверкой. Научное обоснование базировалось на применении методов системного анализа, математического моделирования, сопротивления материалов и теоретической механики.

**Научная новизна и значимость полученных результатов.**

- впервые дано теоретическое обоснование образования сил по поверхностям режущего элемента с учетом контактных напряжений в зоне действия главной режущей кромки; удельного давления элемента стружки на

переднюю грань; сил инерции, вызывающих отрыв стружки от грани резца; сил трения по задней и боковым граням резца от упругого восстановления обрабатываемой древесины;

- установлены наиболее значимые переменные факторы, влияющие на силовые показатели процесса пиления рамными пилами;

- получены математические зависимости сил резания от переменных факторов, характеризующих объект обработки, конструкцию режущего элемента и процесса рамного пиления древесины;

- установлены параметры стойкости инструментальных сталей в зависимости от процентного содержания хрома и от метода повышения стойкости путем гальванического хромирования с включением алмазных добавок;

- разработана методика расчета рациональных режимов пиления древесины рамными пилами повышенной стойкости.

**Практическая значимость полученных результатов.** Технология увеличения стойкости режущих элементов рамных пил гальваническим хромированием с алмазными добавками и принятые рациональные режимы эксплуатации показали, что стойкость опытных инструментов выше в 1.8 - 2.6 раза по отношению к существующим конструкциям. Рекомендованные режимы резания позволяют снизить энергоемкость процесса механической обработки до 10 % при росте коэффициента использования лесопильной рамы. Разработанные зависимости стойкостных показателей инструментальных сталей могут быть использованы при проектировании новых, не освоенных до настоящего времени, биметаллических конструкций рамных пил.

Применение экспериментальных рамных пил, для резания древесины, на ОАО «Минскдрев» показало их более высокую стойкость в сравнении с ранее применяемыми. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований составляет 9550 тыс. руб.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- теоретические разработки сил резания по граням режущего элемента при пилении рамными пилами;

- методика проведения исследований силовых показателей методом случайного баланса по установлению переменных факторов, наиболее влияющих на силовые показатели процесса пиления рамными пилами;

- методика и результаты исследований силовых показателей в зависимости от наиболее влияющих технологических факторов;

- методика и результаты исследований стойкостных показателей рамных пил в зависимости от процентного содержания хрома в инструментальных сталях и от метода увеличения стойкости полотен пил гальваническим хромированием с включением алмазных добавок;

- методика расчета режимов резания рамными пилами повышенной стойкости.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является результатом личной работы соискателя. Им выполнен анализ расчетных методов силовых

показателей с применением математического моделирования при соблюдении одинаковых условий расчетов; дано теоретическое обоснование силовых образований по граням реза; разработана методика проведения экспериментальных исследований по силовым и стойкостным показателям с применением математических методов планирования. Соискателем выполнены экспериментальные измерения, обработаны, проанализированы результаты исследований и разработана методика расчета режимов пиления древесины рамными пилами повышенной стойкости.

**Апробация результатов диссертации** Результаты диссертационной работы докладывались и одобрены на: Международной научно-технической конференции «Лес - экология и ресурсы» (БГТУ, Минск, 1998 г.), «Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности» (БГТУ, Минск, 1999 г.), Международной научно-технической конференции «Леса Беларуси и их рациональное использование» (БГТУ, Минск, 2000 г.), а также научно-технических конференциях БГТУ 1998-2004 гг.

**Опубликованность результатов.** Основные положения диссертации опубликованы в 8 печатных работах, в том числе статья в научном журнале (2 стр.), 5 статей в сборниках научных трудов (16 стр.) и 2 тезиса докладов на научных конференциях (5 стр.).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 129 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 31 рисунок, 21 таблицу, 81 использованных источников и 5 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы и дана краткая характеристика работы в целом.

**Первая глава.** Состояние вопроса распиловки древесины рамными пилами. Содержит обзор литературных источников, связанных с изучением: особенностей процесса механической обработки древесины методом пиления полосовым инструментом; расчетных методов силовых показателей, обеспечивающих установление рациональных режимов эксплуатации пил и существующих технологий повышения стойкости, позволяющих повысить эксплуатационный ресурс инструмента. Этим вопросам частично посвящены работы И.П. Остроумова, А.В. Моисеева, И.В. Санева, А.И. Агапова, Г.Ф. Прокофьева, Е.А. Памфилова, Г.А. Зотова и др.

В настоящее время для расчета режимов резания используют теоретические предпосылки определения силовых показателей, разработанные на основе обобщения значительного количества экспериментальных исследований, которые реализовывались с применением различных методик и измерительных систем. Эти методы расчетов режимов эксплуатации дереворежущего инструмента и оборудования не позволяют выполнять расчеты при переходе на автоматическое управление процессами

резания. Данный переход возможен, если в управляемые программы заложены влияния переменных факторов, имеющих физическую сущность процесса.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы произведено моделирование выходного показателя касательной силы резания при пилении рамными пилами с использованием расчетных методов, разработанных проф. А.Л. Бершадским, проф. С.А. Воскресенским и проф. Е.Г. Ивановским. Моделирование выполнено на основе использования В - оптимальных планов с уровнями варьирования переменных факторов, удовлетворяющих ограничениям, заложенным в расчетные формулы. Результаты расчетов позволили получить априорные диаграммы влияния переменных факторов на касательную силу резания в зоне контакта реза с древесиной (рис. 1).

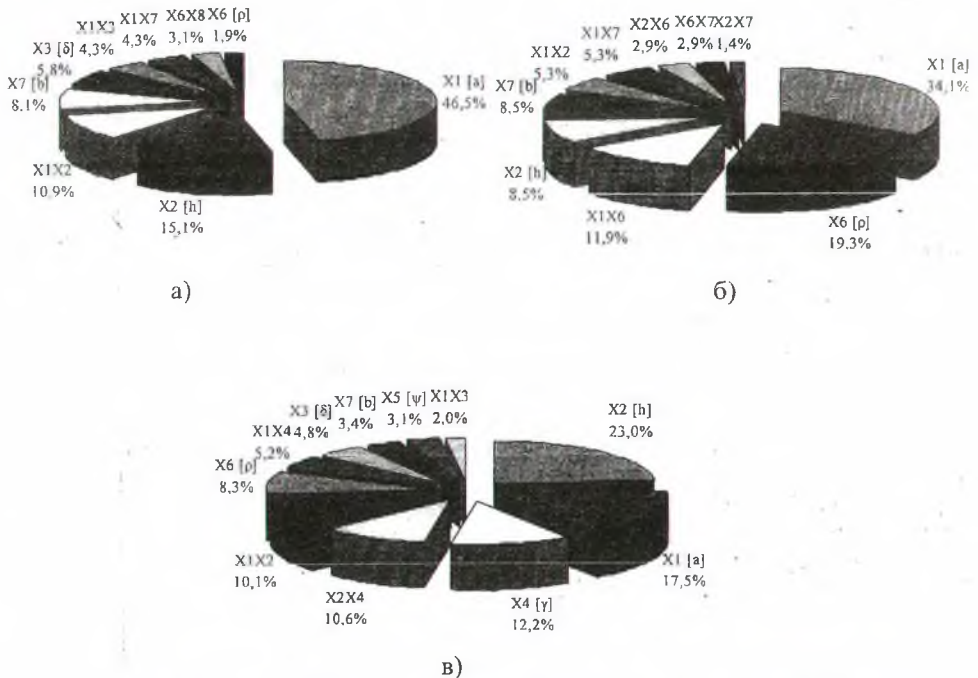


Рис. 1 Степень влияния переменных факторов на касательную силу резания при пилении рамными пилами одним режущим элементом по данным: а - проф. А.Л. Бершадского; б - проф. С.А. Воскресенского; в - проф. Е.Г. Ивановского

Как видно из рис. 1 существующие расчетные методы, используемые в практических условиях, на этапе внедрения гибких автоматических систем со следящими приводами не могут обеспечить управление процессом резания,

так как не определены переменные факторы, оказывающие наибольшее влияние на силы резания, и отсутствуют показатели, учитывающие внедрение в производство технологий упрочнения инструмента.

Выявленные противоречия по влиянию отдельных факторов на силовые показатели требуют выполнения дополнительных исследований с учетом основных подозреваемых переменных.

**Вторая глава. Силовые показатели резания при взаимодействии реза с древесиной.** В данной главе рассмотрены теоретические предпосылки к проведению исследований. Силовые показатели при механической обработке древесины расчленены с учетом конструкции режущего элемента на силы резания по поверхностям реза. В то же время предложено рассматривать силы резания по передней грани реза в виде трех составляющих.

Первая составляющая предусматривает силы на лезвии реза, вызванные контактными напряжениями.

Для случая контакта режущего элемента с древесиной (рис. 2) имеет место давление цилиндра на плоскости, так как  $r_2 = \infty$ . В этом случае имеется также площадка контакта шириной  $C$ .

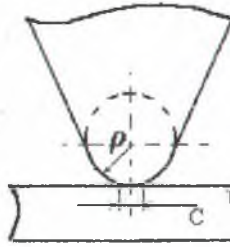


Рис. 2 Контактные напряжения при давлении тел

Согласно теории контактных напряжений ширина площадки  $C$  и максимальное напряжение  $\sigma_{\max}$  можно определить по формулам (1).

$$C = 3.68 \sqrt{q_d \left( \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \right) r}; \quad \sigma_{\max} = 0.418 \sqrt{\frac{q_d}{r} \left( \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \right)}, \quad (1)$$

где  $q_d$  - равномерно распределенная нагрузка режущей кромки на древесину;  $E_1$  и  $E_2$  - модули упругости соответственно режущего элемента и обрабатываемого материала, ГПа;  $r$  - радиус скругления главной режущей кромки, мм.

Таким образом, можно считать, что сила, предопределяющая стружкообразование, зависит от физико-механических свойств древесного материала и состояния главной режущей кромки. Точка А (Рис. 3) является зоной разделения работы реза. Физические явления, происходящие в этой точке и выше нее, можно считать силообразованием на передней грани, а ниже – силообразованием на задней грани.



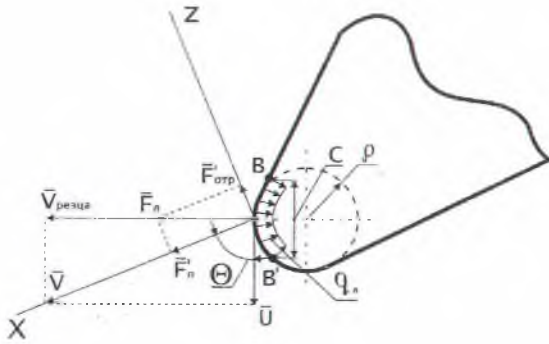


Рис. 3 Схема сил на лезвии резца

Полученные значения силы резания на лезвии можно преобразовать с учетом направления вектора скорости резания  $\vec{V}$ . Учитывая показатель кинематического угла встречи  $\Theta$  образованного векторами скорости резания и подачи, путем геометрических преобразований получим

$$F'_n = F_n \sin \Theta; \quad (2)$$

$$F'_{отр} = F_n \cos \Theta. \quad (3)$$

Тогда силовые показатели на лезвии резца будут иметь вид: сила образующая процесс стружкообразования

$$F'_n = 6.87 \rho b \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \sin \Theta; \quad (4)$$

сила перемещения стружки по грани резца

$$F'_{отр} = 6.87 \rho b \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \cos \Theta. \quad (5)$$

При достижении максимально допустимого значения смятия происходит процесс отделения элемента стружки от массива за счет сил трения и наступает окончательная фаза стружкообразования. Срезаемый слой древесины в результате давления на ее передней гранью представляет собой уплотненную массу. Как видно из рис. 4, передняя грань на участке BD воспринимает давление срезаемой древесины  $q_{стр}$ , эпюра которого вследствие незначительных размеров контакта стружки с элементами резца с достаточно высокой степенью точности можно принять в виде прямоугольника, что позволяет обосновать постоянство силы трения.

Процесс срезания элементов стружки возможен, если к режущему элементу приложить усилие (давление), противодействующее давлению  $q_{стр} = \sigma_{см}$  (вторая составляющая). Преобразование силовых показателей на передней грани от параметров срезаемой стружки равномерно распределенные нагрузки представлены в виде сосредоточенных сил  $F$  и  $F_{тр}$ .



деформированис вызывает перемещение элемента стружки с некоторым ускорением. Данный процесс имеет место на передней грани, начиная с точки D и выше (рис. 4).

Толщина формирующейся стружки (рис. 5), включающая несколько спрессованных клеточных элементов при перемещении по передней грани реза из точки D в точку N претерпевает преобразования последних в свободное состояние в направлении движения реза. Направление деформирования вызвано наличием ограничений для перемещения со стороны передней грани (линия DN).

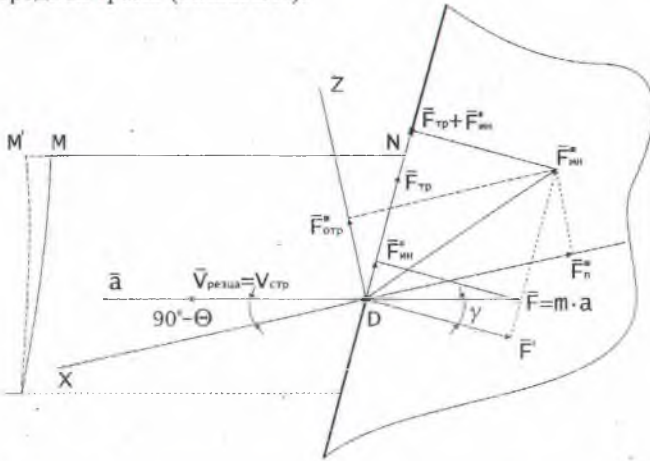


Рис. 5 Схема образования инерционных сил на передней грани реза

Восстановленные элементы перемещаются из точки M в точку M' со скоростью движения реза с некоторым ускорением, которое можно определить по выражению

$$a = \frac{V_{\text{стр}}}{t} = \frac{V_{\text{реза}}^2}{S_{\text{кл}}}$$

где  $V_{\text{стр}} = V_{\text{реза}}$  - скорость перемещения стружки, м/с;

t - время прохождения клетки из сжатого состояния в свободное, с. Время перехода определяется из выражения  $t = S_{\text{кл}} / V_{\text{реза}}$ ;

$S_{\text{кл}}$  - толщина клеточной структуры древесины (в среднем равна 8 мкм).

По закону движения сила инерции, действующая на стружку, определяется

$$F_{\text{инерц}} = ma = bS_{\text{кл}}a_{\text{стр}}Da,$$

где  $a_{\text{стр}}$ , b - соответственно толщина и ширина стружки, мм;

D - плотность древесного материала, г/мм<sup>2</sup>.

Направление инерционной силы соответствует обратному направлению ускорения движения режущего элемента, а силы трения будут иметь противоположное направление силам трения участка BD.

Используя аналогичные преобразования сил участка BD, получены уравнения расчета силы на передней грани в зоне DN.

$$F_n'' = F_{ин} \sin \theta = b S_{кл} a_{стр} D a \sin \theta. \quad (11)$$

Сила отрыва

$$\begin{aligned} F_{отр}'' &= (F_{ин} \cos \gamma - f + F_{ин} \sin \gamma) \cos \gamma \cos \theta = \\ &= F_{ин} (\cos \gamma - f + \sin \gamma) \cos \gamma \cos \theta = b S_{кл} a_{стр} D (\cos \gamma - f + \sin \gamma) \cos \gamma \cos \theta. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, общая сила резания:  
на передней грани

$$\begin{aligned} F_{п} &= F_{п}' + F_{п}'' + F_{п}''' = 6.87 \rho b \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \sin \theta + \frac{a_{стр} b c \cos \varphi_2 \sin \theta}{\cos \varphi_1} [\sigma_{см}]_+ + \\ &+ b S_{кл} a_{стр} D a \sin \theta; \end{aligned} \quad (13)$$

отрыва стружки

$$\begin{aligned} F_{отр} &= F_{отр}' + F_{отр}'' + F_{отр}''' = 6.87 \rho b \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \cos \theta + \frac{a_{стр} b \sin \varphi_2 \cos \theta}{\cos \varphi_2} [\sigma_{см}]_- - \\ &- b S_{кл} a_{стр} D (\cos \gamma - f + \sin \gamma) \cos \gamma \cos \theta. \end{aligned} \quad (14)$$

Воздействие задней (рис. 6 а) и боковой (рис. 6 б) граней реза на древесный материал в зоне контакта обусловлено явлением упругого восстановления обрабатываемого материала.

Из рис. 6а видно, что эпюры давления упругого восстановления имеют сложную форму и не представляется возможным предложить расчетный метод определения как непосредственного давления, направленного перпендикулярно отдельным элементам поверхности реза, так и его составляющих. В данном случае целесообразно экспериментальным путем установить среднюю силу отжима  $F_{отж}$ .

Чтобы определить среднее давление древесины на заднюю и боковую поверхности реза, необходимо применить зависимости

$$P_3 = \frac{F'_{отж}}{A_{задн}}; \quad P_6 = \frac{F'_6}{A_{бок}},$$

где  $A_{задн}$ ,  $A_{бок}$  - площади контакта задней и боковой поверхностей реза с зонами пластического деформирования и упругого восстановления.

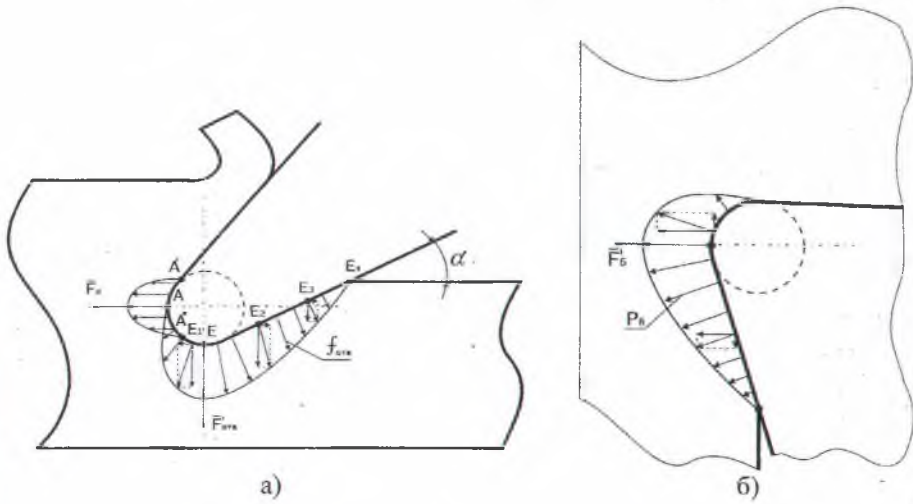


Рис. 6 Воздействие задней (а) и боковой (б) граней реза на поверхность резания

Пластическое деформирование древесины по задней поверхности происходит на участке режущей кромки  $AE_1E$ , площадь которого будет равна

$$A_1 = \bar{l}_{AE_1E} b = \sqrt{\rho \cdot 2\rho} \quad b = 1.41\rho b.$$

Упругое восстановление древесины имеет место на прямой задней грани  $EE_4$  с площадью контакта

$$A_2 = EE_4 b = \frac{\rho}{\operatorname{tg}\alpha} b.$$

Таким образом

$$A_{\text{задн}} = A_1 + A_2 = 1.41\rho b + \frac{\rho b}{\operatorname{tg}\alpha} = \rho b \left( 1.41 + \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \right). \quad (15)$$

Площадь контакта по боковым граням аналогична, что и по задней грани. Нами установлено, что величина затупления трехгранного угла, образованного главной режущей кромкой, передней и задней кромками реза является необходимой для учета суммарной силы резания.

**Третья глава. Методика экспериментальных исследований.** Глава посвящена методике экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Поиск рациональных условий эксплуатации оборудования и инструмента может потерять смысл, если при постановке задачи и выполнении экспериментальных работ для разработки модели процесса будет не учтен хотя бы один влияющий переменный фактор. Во избежание этого, на первом этапе предусмотрена методика проведения отсеивающего эксперимента методом случайного баланса, а на втором – использование

математического планирования вида В - оптимальных планов для проведения основных исследований.

В отсеивающий эксперимент включены такие переменные факторы как: толщина стружки  $a$  (0-1.5 мм); угол резания  $\delta$  (60-80°); задний угол  $\alpha$  (20-30°); влажность древесины  $W$  (8-45%); уширение на сторону  $S_0$  (0-1.25мм); угол косой заточки задней грани  $\varphi$  (0-10°); радиус затушения  $\rho$  (5-55 мкм); угол разворота режущей кромки  $\varphi_1$  (0-10°). Постоянными были приняты: порода древесины - сосна; плотность древесины  $\gamma=0.43$  г/см<sup>3</sup>; первоначальный радиус затушения  $\rho_0=5$  мкм; скорость резания  $V=0.01$  м/с; угол встречи с годовыми кольцами  $\psi=90^\circ$ , толщина полотна пилы  $S=2.5$  мм; количество режущих элементов  $z=2$ ; вид резания - продольный.

Экспериментальные исследования проводились на установках, обеспечивающих получение выходных показателей с достаточно высокой точностью. Принцип работы установок представлен на рис. 7.

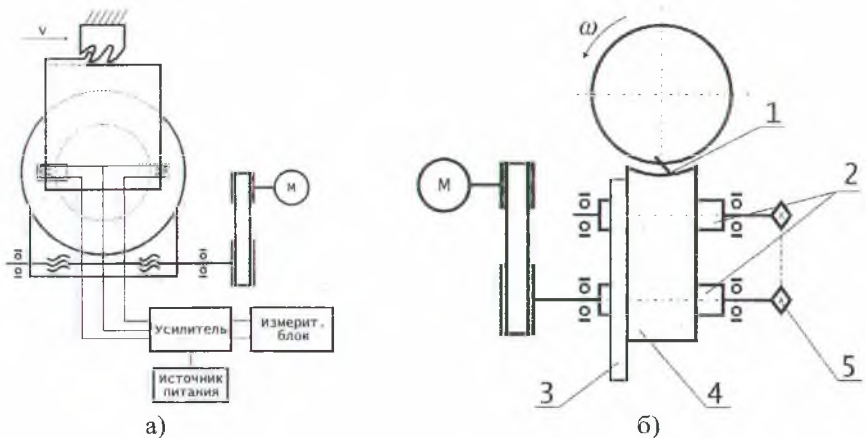


Рис. 7 Принципиальные схемы экспериментальных установок по исследованию силовых (а) и стойкостных (б) показателей.

- 1 - режущий элемент; 2 - подающие вальцы; 3 - направляющая линейка; 4 - обрабатываемый материал; 5 - цепная передача.

**Четвертая глава. Влияние основных технологических факторов на силовые показатели процесса резания древесины рамными пилами.** В главе представлены результаты исследований по отсеиванию переменных факторов мало влияющих на силовые показатели и основного эксперимента, предусматривающего получение математического описания процесса резания древесины.

Использованный метод случайного баланса позволил получить значения эффектов выделенных факторов и их парных взаимодействий на удельную силу резания (рис. 8) в зависимости от влажности

древесины сосны  $W$  [ $X_1$ ], уширения на сторону  $S_0$  [ $X_2$ ], угла косой заточки задней грани  $\varphi$  [ $X_3$ ], угла резания  $\delta$  [ $X_4$ ], заднего угла  $\alpha$  [ $X_5$ ], угла разворота режущей кромки  $\varphi_1$  [ $X_6$ ], радиуса затупления режущей кромки  $\rho$  [ $X_7$ ], количество рабочих боковых граней  $m$  [ $X_8$ ], толщины стружки  $a$  [ $X_9$ ].

На основании диаграммы рангов, характеризующей степень влияния переменных факторов на удельную силу резания, выполнен основный эксперимент с включением в методическую сетку  $B$  - оптимального плана таких переменных факторов как толщина стружки  $a$  [ $X_1$ ], угол резания  $\delta$  [ $X_2$ ], радиус затупления режущей кромки  $\rho$  [ $X_3$ ], угол косой заточки задней грани  $\varphi$  [ $X_4$ ], и уширения на сторону  $S_0$  [ $X_5$ ]. Уровни варьирования переменных факторов оставлены без изменений, а для малозначимых приняты средние значения их диапазонов, что позволило еще в два раза уменьшить их влияние на силы резания.

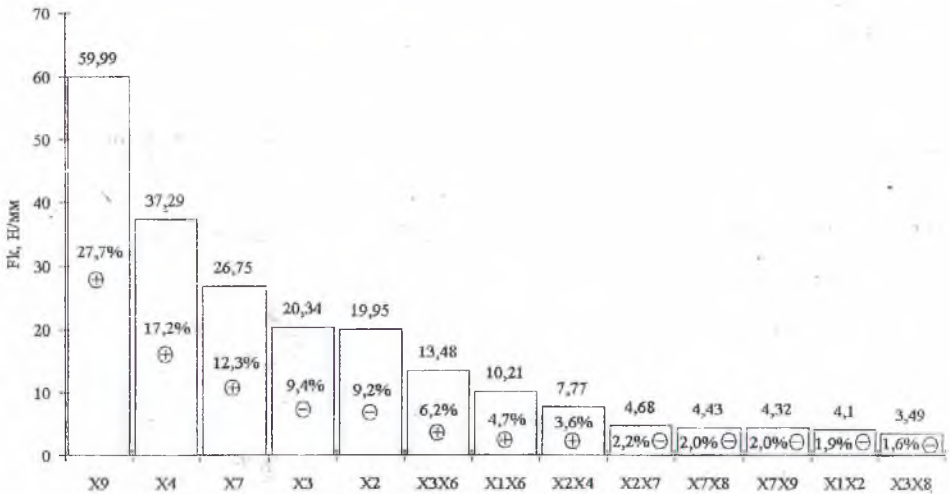


Рис. 8 Диаграмма эффектов выделенных факторов и парных взаимодействий

В результате обработки опытных данных с одновременной оценкой коэффициентов регрессии по  $t$  - критерию Стьюдента и модели в целом по  $F$  - критерию Фишера получено уравнение, описывающее удельную силу резания при пилении рамными пилами древесины сосны в кодированном (16) и явном (17) выражениях.

$$Y = 101.7 + 27.3X_1 + 17.5X_2 + 15.4X_3 - 11.3X_4 - 11.8X_5 + 1.9X_1X_2 + 3.8X_2X_5 - 1.9X_3X_5 - 8.5X_1^2 - 5.2X_3^2 \quad (16)$$

$$F = -22.15 + 41.34a + 1.18\delta + 1.19\rho - 0.5\varphi - 19.87S_0 + 0.253a\delta + 0.603\delta S_0 - 0.121\rho S_0 - 15.11a^2 - 0.0083\rho^2 \quad (17)$$

Построенные, по уравнению регрессии, графические зависимости влияния переменных факторов на силовые показатели по поверхностям реза показывают соответствие и согласованность теоретических предпосылок силообразования с результатами выполненных исследований.

**Пятая глава.** Влияние основных технологических факторов на стойкостные показатели процесса пиления древесины рамными пилами. В главе представлены результаты лабораторных и производственных исследований стойкостных показателей сталей в зависимости от процентного содержания хрома, а также с учетом упрочнения полотен пил гальваническим хромированием с алмазными добавками.

Лабораторные испытания проводились для марок сталей 9ХФ, 8Х6НФТ, Р6М5 и упрочненных гальваническим хромированием сталь 9ХФ.

В качестве обрабатываемого материала, источника затупляемости режущих элементов, принят материал средней плотности типа MDF, который характеризуется постоянной по величине плотностью.

Оценочным критерием стойкости принят линейный износ по биссектрисе угла заострения режущего элемента. Результаты исследований позволили получить математическое описание процесса затупления и построить номограмму линейного износа (рис. 9).

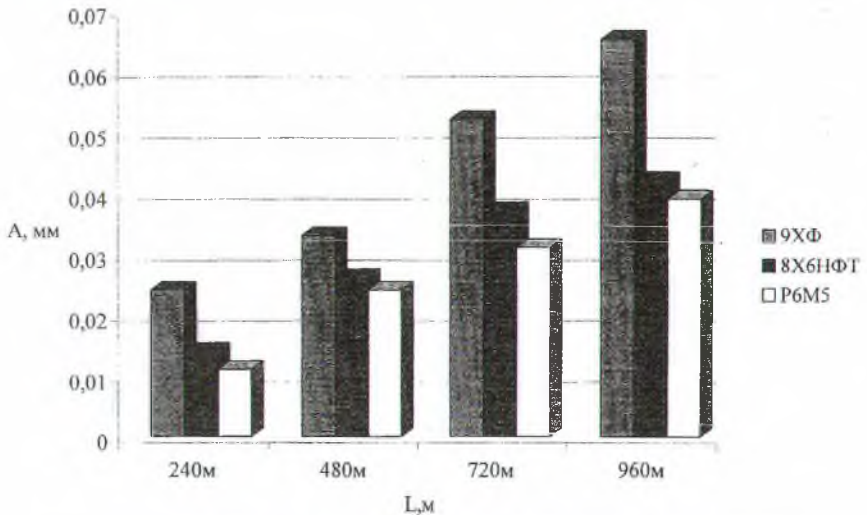


Рис. 9 Номограмма линейного износа инструментальных сталей в средней зоне поверхности резания при различной длине контакта инструмента с обрабатываемой древесиной



Производственные испытания проводились с учетом специфики распиловки бревен с брусочкой в поставе пил были установлены две опытные пилы с семитричным расположением двух используемых на производстве. Две первые пилы как упрочненная, так и обычная устанавливались в центре поставы для формирования двухкантного бруса, а две другие - на выпиливание необрезных досок, прилегающих к брусу. Распиливанию подвергалась древесина сосны влажностью более 25% с средним диаметром в вершине 200 - 260 мм на лесопильной раме 2Р75 - 01. Длина бревна составляла 6000 мм. Посылка на оборот устанавливалась в зависимости от среднего диаметра бревна и составляла 20 - 25 мм/об.

Критерием работоспособности пил была принята величина затупления главной режущей кромки, которая устанавливалась путем оттиска свинцовыми пластинками двух - трех режущих элементов, расположенных в средней части пилы с уширением на сторону к центру поставы. Значения радиуса закругления резцов измерялись при помощи инструментального микроскопа ИМЦЛ 150х50,6.

Полученные результаты лабораторных исследований инструментальных сталей с различным процентным содержанием хрома могут быть основой для разработки биметаллических конструкций рамных пил; производственные испытания упрочненных полоток рамных пил гальваническим хромированием с включением алмазных добавок показали целесообразность их использования в лесопильном производстве; долговечность упрочненных конструкций рамных пил, как минимум, увеличивается в 1.8 раза, что позволяет снизить расход пил, уменьшить трудозатраты на заточные работы с экономией потребностей как абразивного инструмента, так и энергоносителей для выполнения технологической операции по восстановлению режущей способности резцов; нарушения рекомендаций по режимам заточки не выявили значительного влияния на интенсивность затупления упрочненной основы боковых граней полоток пил.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существующие расчетные методы, используемые для установления режимов эксплуатации рамных пил, на этапе внедрения гибких автоматических систем со следящими приводами не могут обеспечить управление процесса резания древесины, так как целый ряд факторов используется без учета внедрения в производство технологий повышения стойкости, динамики затупления упрочненных режущих элементов, физического влияния переменных на выходные показатели механической обработки [2, 7].

2. Теоретически разработанные силовые показатели предусматривающие: контактные напряжения, обеспечивающие отделение элемента стружки от массива древесины; давление стружки на переднюю поверхность; силы инерции, обеспечивающие отрыв стружки от грани резца; силы трения по периметру контакта резца с объектом обработки даст основание о целесообразности проведения экспериментальных исследований в два этапа. На первом этапе установление наиболее влияющих переменных факторов на выходной показатель касательной силы резания и на втором – создание модели процесса [4].

3. Постановка отсеивающего эксперимента при рамном пилении древесины сосны выявила доминирующие переменные факторы и их парные взаимодействия, влияющие на силовые показатели процесса резания.

Установлено, что наиболее значимыми переменными факторами, влияющими на касательную силу резания являются: толщина стружки, угол резания, радиус затупления режущей кромки, угол косой заточки по задней грани резца и уширение на сторону зубчатого венца.

Использование математического метода планирования эксперимента позволило получить зависимости влияния основных переменных факторов на силовые показатели процесса механической обработки, которые согласуются с теоретической разработкой направленной на уточнение теории резания древесины.

Математическое описание силовых показателей, в виде уравнений регрессии, дает возможность устанавливать рациональные режимы эксплуатации рамных пил которые, в результате опытно-промышленной проверки, позволили снизить энергопотребление на 10%. [1, 3].

4. Разработанные математические модели по результатам исследований стойкостных показателей инструментальных сталей при механической обработке древесных материалов позволяют выполнять расчеты по динамике затупления режущих элементов. Результаты исследований процесса затупления дают возможность устанавливать технологические режимы заточных операций по восстановлению режущей способности зубчатого венца.

Установленные закономерности стойкостных показателей инструментальных сталей можно использовать в качестве рекомендаций по

выбору марки стали при разработке, в перспективе, биметаллических конструкций рамных пил [5].

5. Использованная технология упрочнения полотен рамных пил гальваническим хромированием с алмазными включениями позволяет увеличить стойкость рамных пил в среднем в 1.8 - 2.6 раза. Данный метод повышения стойкости обеспечивает высокую степень сохранения режущей способности боковых трехгранных углов при вершине зуба как для новых полотен пил, так и после выполнения заточных операций [2, 6, 8].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Фридрих А.П., Бурносов Н.В., Жданович Ю.В. Повышение жесткости и устойчивости рамных пил. Материалы международной научно-технической конференции. Лес экология и ресурсы. 17 - 18 ноября 1998 г. С. 261-263.
2. Фридрих А.П., Бурносов Н.В., Бавбель И.И., Жданович Ю.В. Анализ методов упрочнения пильного инструмента // Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. Вып. VI. 1998. С. 158-161.
3. Жданович Ю.В. Экспериментальная установка для испытания рамных пил на жесткость и устойчивость. // Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. Вып. VII. 1999. С. 142-145.
4. Жданович Ю.В. Экспериментальная установка для определения значений сил, действующих на зубья рамных пил при распиловке древесины// Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. Вып. VIII. 2000. С. 192-194.
5. Жданович Ю.В. Динамика затупления режущих элементов при механической обработке древесных материалов. Материалы международной научно-технической конференции. Леса Беларуси и их рациональное использование 29-30 ноября 2000 г. С 333-335.
6. Жданович Ю.В. Повышение стойкости дереворежущего инструмента с использованием алмазов в гальванических покрытиях на основе хрома.// Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. Вып. X. 2002. С. 197-199.
7. Жданович Ю.В. Анализ расчетных методов касательной силы резания при пилении древесины рамными пилами. // Труды БГТУ. Сер. лесн. и деревообр. пром-сти. Вып. XI. 2003. С. 221 - 224.
8. Упрочнение рамных пил гальваническим хромированием с алмазными добавками / А.П. Фридрих, Ю.В. Жданович// Деревообрабатывающая промышленность. – 2004. – № 2. С. 9-10.

## РЕЗЮМЕ

Жданович Юрий Владимирович

**РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАМНЫХ ПИЛ  
ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Лесопильное производство, рамные пилы, режимы эксплуатации, моделирование по силовым показателям, стойкость режущих элементов.

Объектом являются режимы эксплуатации рамных пил повышенной стойкости.

Целью диссертационной работы является разработка математических моделей, описывающих зависимость силовых и стойкостных показателей от основных факторов процесса пиления древесины рамными упрочненными и неупрочненными пилами.

Теоретические и экспериментальные исследования базировались на применении методов системного анализа, математического моделирования, сопротивления материалов, теоретической механики и статистического анализа полученных результатов с опытно-промышленной проверкой.

Разработана методика расчета режимов пиления древесины рамными пилами повышенной стойкости в зависимости от силовых показателей. Получены математические зависимости сил резания от переменных факторов характеризующих объект обработки, конструкцию режущего элемента и процесса рамного пиления древесины. Установлены параметры стойкости инструментальных сталей в зависимости от процентного содержания хрома и от гальванического хромирования с включением алмазных добавок.

Использование рациональных режимов эксплуатации рамных пил повышенной стойкости методом гальванического хромирования с алмазными добавками даст возможность снизить энергоемкость процесса механической обработки до 10% и расход рамных пил в 1.8 - 2.6 раза.

## РЭЗЮМЭ

Ждановіч Юрый Уладзіміравіч

**РАСПРАЦОЎКА РЭЖЫМАЎ ЭКСПЛУАТАЦЫІ РАМНЫХ ПІЛ ПАВЫШАНАЙ ТРЫВАЛАСЦІ ДЛЯ РАСПЛОЎКІ ДРАЎІНЫ**

Лесапільная вытворчасць, рамныя пілы, рэжымы эксплуатацыі, мадэліраванне па сілавых паказчыках, трываласць рэжучых элементаў.

Аб'ектам з'яўляюцца рэжымы эксплуатацыі рамных піл павышанай трываласці.

Мэтай дысертацыйнай працы з'яўляецца распрацоўка матэматычных мадэляў, якія апісваюць залежнасць сілавых і трываласных паказчыкаў ад асноўных фактараў працэсу пілавання драўніны рамнымі ўмацаванымі і неўмацаванымі піламі.

Тэарэтычныя і эксперыментальныя даследаванні базіраваліся на прымяненні метадаў сістэмнага аналізу, матэматычнага мадэліравання, супраціўлення матэрыялаў, тэарэтычнай механікі і статыстычнага аналізу атрыманых вынікаў з вопытна-прамысловай праверкай.

Распрацавана метадыка разліку рэжымаў пілавання драўніны рамнымі піламі павышанай трываласці ў залежнасці ад сілавых паказчыкаў. Атрыманы матэматычныя залежнасці сіл рэзання ад пераменных фактараў, якія характарызуюць аб'ект апрацоўкі, канструкцыю рэжучага элемента і працэсу рамнага пілавання драўніны. Устаноўлены параметры трываласці інструментальных сталей у залежнасці ад працэнтнага змяшчэння хрому і ад гальванічнага храміравання з уключэннем алмазных дабавак.

Выкарыстанне рацыянальных рэжымаў эксплуатацыі рамных піл павышанай трываласці метадам гальванічнага храміравання з алмазнымі дабаўкамі дае магчымасць знізіць энергаёмкасць працэсу механічнай апрацоўкі да 10% і расход рамных піл у 1.8 - 2.6 разу.

## SUMMARY

ZHDANOVICH YURY VLADIMIROVICH

**THE DEVELOPMENT OF OPERATION MODES OF FRAME SAWS  
OF HIGHLY DURABLE FIRMNESS FOR TIMBER SAWING .**

Timber production, frame saws, operation modes, modeling on strength indicators, firmness of cutting elements.

The operations modes of frame saws of highly durable firmness are the object.

The aim of thesis work is the development of mathematical models, describing the dependence of strength and highly durable indicators on the main factors of the process of timber sawing with frame strengthening and non-strengthening saws.

Theoretical and experimental investigations were based on the application of systems analysis methods, mathematical modeling, materials resistance, theoretical mechanics and statistic analysis of obtained results with experienced-industrial test.

The procedure of calculation of modes timber sawing with frame saws of highly durable firmness depending on strength indicators has been treated.

The mathematical dependences of cutting forces on variable factors, characterising the object of machining, the construction of the cutting element and the process of timber frame sawing have been obtained. The parameters of firmness of tool steels in dependence on percentage content of chromium and on galvanic chromium-plating with inclusion of adamantine additions have been established.

The use of rational operation modes of frame saws of highly durable firmness with the method of galvanic chromium-plating with adamantine additions gives the possibility of reduce power consumption of the process of mechanical machining till 10% and reduce expenses of frame saws in 1,8 – 2,6 times.

Жданович Юрий Владимирович

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАМНЫХ ПИЛ  
ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

Подписано в печать 25.05.04. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Гарнитура таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч. -изд. л. 1,2.

Тираж 90 экз. Заказ 288,

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет».

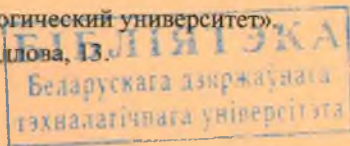
Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.23. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования

«Белорусский государственный технологический университет».

220050, Минск, ул. Свердлова, 13.

577 ар



## ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в текст диссертации и автореферата  
Ждановича Юрия Владимировича «Разработка режимов эксплуатации  
рамных пил повышенной стойкости для распиловки древесины»

В автореферате (с. 2) и диссертации (с. 9) предложение «Целью работы является разработка математических моделей, описывающих зависимость силовых и стойкостных показателей от основных факторов процесса пиления древесины рамными упрочненными и неупрочненными пилами» следует заменить предложением следующего содержания: «Целью данной работы является установление режимов эксплуатации рамных пил повышенной стойкости на основе использования разработанного расчетного метода включающего зависимость силовых и стойкостных показателей от основных факторов процесса пиления древесины».

В заключении автореферата (с. 17) и диссертации (с. 122) необходимо добавить пункт 6 следующего содержания: «Промышленные испытания разработанных режимов эксплуатации рамных пил повышенной стойкости на ОАО «Минскдрев» показали снижение энергоемкости и повышение износостойкости зубьев при распиловке древесины сосны, что послужило основанием для принятия данных режимов к внедрению на ОАО «Минскдрев» с годовым ожидаемым эффектом 9,55 млн. руб.»

Соискатель



Ю.В. Жданович

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций



С.П. Мохов