

На правах рукописи

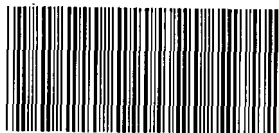


Вишуренко Наталия Викторовна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПИЛОВКИ МЕРЗЛОЙ
ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ НА ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМАХ**

Специальность 05.21.05 – «Древесиноведение, технология и
оборудование деревопереработки»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



005051571

11 АПР 2013

Красноярск – 2013

Работа выполнена на кафедре станков и инструментов ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

Научный руководитель – Корчма Иван Степанович
кандидат технических наук, доцент, с.н.с.

Официальные оппоненты:

Шилько Владимир Казимирович – доктор технических наук, профессор, чл.-корр. САН ВШ, заведующий кафедрой «Машины, оборудование и технология деревообработки» ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Курицын Виктор Николаевич - кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудования лесозаготовок» ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск

Защита диссертации состоится «26» апреля 2013 г. в 10⁰⁰ час на заседании диссертационного совета Д212.253.04 при Сибирском государственном технологическом университете по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира 82, СибГТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского государственного технологического университета

Автореферат разослан «21» марта 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.т.н., доцент



Мелешко А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Регионы Сибири и Дальнего Востока отличаются такой характерной особенностью как суровая и продолжительная зима, а также тем, что большая часть ценнейших хвойных лесов сосредоточена именно здесь. В связи с таким обстоятельством лесопромышленные предприятия этих регионов вынуждены большую часть года распиливать мерзлую древесину.

Крупнейшие лесоперерабатывающие заводы России находятся в Сибирском Федеральном округе и, в основном, в северной его части. В настоящее время актуальным является вопрос о снижении энергоемкости, так как при распиловке мерзлой древесины резко возрастают силы резания и, следовательно, энергоемкость при подготовке круглого мерзлого сырья и его распиловке. В тоже время энергоемкость возрастает и при распиловке лиственницы, плотность которой выше других хвойных пород на 25 % ÷ 40 %.

Отказ от бассейнов перед лесопильным цехом на многих предприятиях Сибири привело к тому, что основная нагрузка сосредоточилась на головном оборудовании, которое распиливает непосредственно круглый лесоматериал на брус и доски, снижая при этом производительность всего цеха. В настоящее время этим оборудованием большинства лесопильных цехов являются лесопильные рамы.

В связи с большими объемами ценных хвойных пород в Сибирском Федеральном округе, применение лесопильных рам для высокопроизводительной и качественной распиловки круглого сырья на лесопильных предприятиях стало неотъемлемой частью их развития.

Поэтому разработка новых рекомендаций по подготовке и распиловке мерзлой древесины лиственницы, позволяющих повышать эффективность распиловки мерзлой лиственницы на лесопильных рамах, является актуальной задачей.

Объектом исследования является процесс распиловки мерзлой древесины на лесопильных рамах.

Предметом исследования является уплотнение опилок в межзубовой впадине рамной пилы с учетом геометрии и формы зуба, гидротермического состояния древесины

Цель работы. Повышение эффективности распиловки мерзлой древесины лиственницы на лесопильных рамах, без снижения качества получаемой продукции, за счет совершенствования конструкции рамных пил и снижения значения коэффициента уплотнения древесины, а также снижения энергоемкости при подготовке мерзлого сырья к распиловке.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследований:

1. Выполнить теоретические исследования по определению зависимости коэффициента уплотнения от температурно-влажностного состояния и породы древесины.

2. Осуществить анализ прочности конструкции рамной пилы по параметру межзубовой впадины и контурных углов.

3. Провести экспериментальные исследования по определению влияния гидротермических и масштабных факторов, а также скорости деформирования на механические свойства и деформируемость древесины в замкнутом пространстве для получения математических моделей зависимости величины коэффициента уплотнения и условного предела прочности древесины при сжатии от размера образца, влажности и температуры древесины, скорости деформирования.

4. Разработать рекомендации по повышению эффективности распиловки мерзлой древесины лиственницы на лесопильных рамах.

Научная новизна

Основные результаты, выводы и практические рекомендации, имеющиеся в диссертационной работе, базируются на данных математического моделирования и экспериментальных исследований, выполненных на основе теории резания и термодинамики, механики технологических процессов раскря древесного сырья, теории планирования экспериментов.

1. Разработана математическая модель для определения значения коэффициента уплотнения древесины в зависимости от температуры и влажности древесины, подтвержденная проведенными экспериментами.

2. Получены математические зависимости, позволяющие оптимизировать соотношения величин площади впадины, устойчивости зуба и усталостной прочности пилы, что увеличит ресурс пилы по вместимости, и подачу за один двойной ход пильной рамки.

3. Представлены математические модели, описывающие зависимости изменения величины коэффициента уплотнения и условного предела прочности древесины при сжатии от факторов, характеризующих процесс пиления: размера образца, влажности, температуры, скорости деформирования, которые позволяют увеличить производительность и снизить энергоемкость при пилении.

4. Разработана новая методика по экспериментальному определению коэффициента уплотнения древесины при сжатии в замкнутом пространстве, позволившая выявить новые закономерности исследуемого явления.

Практическая значимость работы

На основе выполненных исследований разработаны:

- оптимальные линейно-угловые параметры зубьев рамных пил для распиловки мерзлой древесины лиственницы;

- предложены и теоретически обоснованы рекомендации по повышению производительности распиловки мерзлой древесины лиственницы на лесопильных рамах.

Личный вклад автора в исследование заключается в разработке основных теоретических положений, определяющих научную новизну и практическую значимость, в определении цели и задач работы. Автором осуществлена обработка и интерпретация экспериментальных данных, подготовка публикаций, а результаты совместных исследований снабжены ссылками на соответствующие источники.

Реализация работы. Результаты работы внедрены на предприятиях: ООО «Сибирь Бельзона Сервис» (г. Красноярск) и ОАО «Лесосибирский ЛДК №1» (г. Лесосибирск). Используются в учебном процессе по специальностям 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса» и 250403 «Технология деревообработки». По теме диссертации реализован грант при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности», полученный на разработку индивидуального проекта в 2010 году. Получены два свидетельства о государственной регистрации программных продуктов для ЭВМ: «B_plans» и «Frame_Saw».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Теоретические положения по определению значения коэффициента уплотнения древесины в межзубовой впадине в зависимости от гидротермических факторов, плотности древесины, подтвержденные экспериментальными исследованиями на образцах древесины лиственницы и сосны.
2. Обоснованные линейно-угловые параметры зубьев рамных пил для распиловки мерзлой древесины лиственницы, разработанные на основе анализа и изменения профилей зубьев рамных пил.
3. Математические модели, описывающие изменение зависимости величины коэффициента уплотнения и условного предела прочности от технологических факторов процесса пиления мерзлой древесины лиственницы.
4. Рекомендации, обеспечивающие повышение эффективности раскроя круглого лесоматериала за счет совершенствования конструкции рамных пил и повышения производительности лесопильных рам при распиловке мерзлой древесины лиственницы.

Апробация работы. Результаты проведенных исследований докладывались на Всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения» (СибГТУ, 2008, 2010, 2012), на Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (СибГТУ, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012), на международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 2008, 2009, 2011), на семинарах кафедры станков и инструментов СибГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 114 наименований и 11 приложений. Диссертация изложена на 152 страницах, содержит 42 рисунка и 31 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования распиловки мерзлой древесины на лесопильных рамах, сформулированы положения, выносимые на защиту, изложены результаты проделанной работы.

В первом разделе диссертационной работы выполнен обзор и анализ основных теоретических положений и концепций по тематике исследования. Приведен анализ использования различных видов головного лесопильного оборудования, анализ факторов, влияющих на производительность и энергетические составляющие при распиловке мерзлой древесины на лесопильной раме. Выявлено, что повышение производительности распиловки мерзлой древесины возможно при увеличении коэффициента формы зуба и уменьшении коэффициента уплотнения древесины в межзубовой впадине рамной пилы.

Исследование степени уплотнения древесины в межзубовой впадине рамной пилы представлены в работах В.И. Дешевого, Е.Г.Ивановского, В.И.Микулинского, А.Л. Бершадского, М.Н. Орлова, А.Э. Грубе, Н.С. Войтинского, В.И. Санева, П. Коха, К.А. Лейхтлинга, И.С. Корчмы и других. Сотрудниками СибНИИЛПа И.С. Корчмой и К.А. Лейхтлингом было выяснено, что коэффициент уплотнения древесины зависит от ее плотности и температурно-влажностного состояния. Однако, в существующих руководящих технических материалах по распиловке древесины на лесопильных рамах при расчете инструкционных подач за один двойной ход пильной рамки используется всего два значения коэффициента уплотнения: для талой древесины и для мерзлой, при этом не учитывается влияние влажности и температуры мерзлой древесины.

Вопросу профилирования режущей части зуба и межзубовой впадины посвящены работы И.П. Остроумова, А.С. Коргушова, М.Н. Орлова, Е.Г. Ивановского, С.М. Хасдана, Е.М. Боровикова, Е. Кивимаа, Б. Тунелла, В.Ф. Фонкина и других. В работах этих авторов рассмотрено влияние угловых параметров зубьев на силы резания и качество поверхности распиловки, влияние формы впадины на процесс уплотнения опилок. Однако, нахождение оптимального профиля зуба рамной пилы для распиловки мерзлой древесины с учетом повышения площади межзубовой впадины и снижения возникающих нагрузок на резце, не уделено должного внимания.

Силовые и энергетические показатели зависят от предела прочности древесины при сжатии. Вопросами прочности древесины при сжатии занимались П.Н.Хухрянский, М.Д. Бойко, Е.Г. Ивановский, В.И. Микулинский, Е.К. Ашкенази, М.Н. Симонов, А.Г. Майорова, В.Н. Курицын и другие. Были выявлены зависимости предела прочности на сжатие древесины в зависимости от температуры и влажности древесины, от угла наклона волокон. Но во всех экспериментах проводилось сжатие открытых образцов, в то время как сжатие срезаемого при пилении слоя происходит в замкнутом пространстве.

На основании проведенного анализа научных работ по направлению исследования, были сделаны выводы, позволившие сформулировать цель и задачи исследования.

Во втором разделе представлен теоретический анализ процесса замерзания древесины, как многокомпонентной системы, а также влияние фазовых превращений влаги в древесине на коэффициент уплотнения.

Опытные распиловки талой древесины показывают, что объем уплотненной во впадине древесины в 1,5-2 раза меньше номинального объема срезанной стружки, поскольку напряжения сжатия, возникающие при срезании стружки, достаточны для деформации клеток и вытеснения из них капиллярной влаги через поры древесины. Номинальный объем стружки уменьшается на величину объема пор, свободных от капиллярной влаги, и предельное значение коэффициента уплотнения опилок во впадине $\alpha_{\text{упл}}$ определяется по формуле

$$\alpha_{\text{упл}} = \rho / \rho_d, \quad (1)$$

где ρ , ρ_d – плотность соответственно древесины при влажности, равной точке насыщения волокна, и древесинного вещества, насыщенного влагой, кг/м³.

При распиловке мерзлой древесины ледяные включения не могут быть вытеснены из полостей клеток. Следовательно, объем стружки уменьшается только на объем пор, свободных от кристаллов льда.

В этом случае предельное значение коэффициента уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ определяется по формуле

$$\alpha_{\text{упл}} = (V_0 + V_x) / V_n, \quad (2)$$

где V_0 – объем древесинного вещества со связанной влагой в срезанной древесине, м³;

V_x – объем льда в срезанной древесине, м³;

V_n – номинальный объем срезанной древесины, м³.

Пилоочник, поступающий в распиловку, кроме связанной влаги содержит и свободную. Увеличение влажности древесины до предела гигроскопичности ведет к увеличению ее объема. Рост влажности выше предела гигроскопичности практически не оказывает влияния на объем древесины. С учетом этого номинальный объем срезанной древесины определяется по формуле

$$V_n = V_o(1 + K_p W_{пн} / 100), \quad (3)$$

где V_o – объем срезанной древесины в абсолютно сухом состоянии, м³;

K_p – коэффициент объемного разбухания, %;

$W_{пн}$ – влажность, соответствующая точке насыщения оболочек, %. Для лиственницы сибирской – 31...33%.

Объем древесинного вещества со связанной влагой определяется по формуле

$$V_d = V_o \rho_{баз} (1 + K_p W_{пн} / 100) (1 / \rho_{д.с.} + W_{пн} / 100 \rho_s), \quad (4)$$

где $\rho_{баз}$ – базисная плотность древесины, кг/м³, для сосны $\rho_{баз} = 400$ кг/м³, для кедра $\rho_{баз} = 350$ кг/м³, для лиственницы $\rho_{баз} = 520$ кг/м³;

$\rho_{д.с.}$ – плотность древесинного вещества, $\rho_{д.с.} = 1540$ кг/м³;

ρ_s – плотность воды, равная 1000 кг/м³.

Объем льда в срезанной древесине определяется по формуле

$$V_n = q V_o \rho_{баз} (1 + K_p W_{пн} / 100) ((W - W_n) / 100 \rho_s), \quad (5)$$

где q – коэффициент увеличения объема при замерзании воды, $q = 1,091$;

W – средняя влажность срезанной древесины, %;

W_n – количество незамерзшей влаги, %.

Подставив в формулу (2) выражения (3), (4), (5), получим

$$\alpha_{ум} = \rho_{баз} \left[\frac{1}{\rho_{д.с.}} + \frac{W_{пн} + q(W - W_n)}{100 \rho_s} \right], \quad (6)$$

Для определения предельного значения коэффициента уплотнения стружки при распиловке талой древесины в вышеприведенной формуле $W_n = W$.

Количество незамерзшей влаги определяется по уравнению проф. Б.С. Чудинова:

$$W_n = 12 + 18e^{0,057(t+2)}, \quad (7)$$

где e – основание натурального логарифма;

t – значение отрицательной температуры, °С.

Также представлено компьютерное моделирование профиля зубьев рамной пилы, на основании которого произведен расчет прочности и устойчивости зубьев. В результате твердотельного моделирования в среде «SolidWorks» были получены значения максимальных напряжений и отклонений зуба пилы при деформированном состоянии (рисунок 1). Зуб рамной пилы анализировался с приложенной по передней и задней граням силой (рисунок 1). Также в результате моделирования установлено, что максимальное напряжение возникает в межзубой впадине. Концентратор напряжений расположен под углом около $\nu = 20^\circ$ (от точки перехода передней грани в радиус впадины).

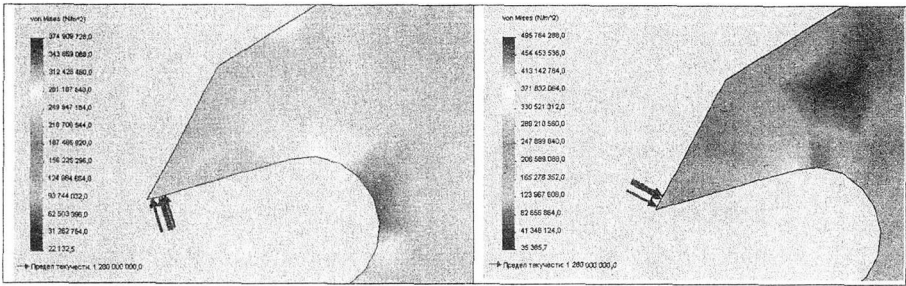


Рисунок 1 – Фрагмент твердотельного имитационного моделирования в среде SolidWorks

По полученным напряжениям был исследован зуб рамной пилы на устойчивость при циклическом нагружении, что позволило определить стойкость зуба рамной пилы.

Далее был проведен численный эксперимент по выявлению рациональной формы зуба для распиловки мерзлой древесины лиственницы. В результате были получены уравнения регрессии по определению площади межзубовой впадины пилы, напряжений по задней грани зуба рамной пилы, устойчивости зубьев в зависимости от линейно-угловых параметров пил. На основании полученных уравнений регрессии была поставлена и решена задача по оптимизации профиля зубьев рамной пилы:

$$\begin{cases} S_{vp}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \rightarrow \max, \\ T(\sigma_{\max}, \sigma_{\min}) \rightarrow \max, \\ y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (8)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 - переменные факторы – основные параметры, определяющие профиль зуба рамной пилы, соответственно: h – высота зуба; l – длина ломаной задней грани зуба; r – радиус впадины; α – задний угол зуба; γ – передний угол зуба;

$\sigma_{\max}, \sigma_{\min}$ - максимальные и минимальные напряжения по передней и задней граням зуба рамной пилы;

S_{vp} – уравнение, описывающее площадь впадины в зависимости от линейно-угловых параметров зубьев рамной пилы;

T – уравнение, характеризующее продолжительность работы рамной пилы, учитывающее напряжения по задней грани зуба;

y – уравнение по определению отклонения зуба в процессе приложения нагрузки, характеризующее устойчивость зуба рамной пилы.

Ограничениями поиска решения являются следующие условия для аргументов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 имеющие вид:

$$\begin{aligned}
 & -1 \leq x_1 \leq 1, \\
 & -1 \leq x_2 \leq 1, \\
 & -1 \leq x_3 \leq 1, \\
 & -1 \leq x_4 \leq 1, \\
 & -1 \leq x_5 \leq 1, \\
 & T \leq 8.
 \end{aligned}$$

Для решения данной задачи составлен алгоритм оптимизации на основе метода перебора входных параметров с задаваемым шагом, определяющим точность решения. В результате проведенной оптимизации были получены следующие значения варьируемых входных параметров в нормализованных и натуральных обозначениях факторов, представленных в таблице 1.

Полученные значения линейных и угловых параметров зубьев рекомендуются использовать при изготовлении рамных пил для распиловки мерзлой древесины лиственницы.

Таблица 1 – Результаты оптимизации профиля зубьев рамной пилы

№	Шаг зуба пилы, мм	h , мм	l , мм	r , мм	α , °	γ , °	S_{vp} , мм ²	T , час	y , мм
1	26	18	11	6	26	13	272,12	7,92	0,274
2	32	22	14	7	24	15	396,16	6,33	0,487
3	40	27	17	8	22	17	610,96	4,18	0,585

Рекомендуемые линейно-угловые параметры зубьев рамных пил (h , l , r , γ , α) обеспечивают большую площадь межзубовых впадин S_{vp} , что увеличивает подачу на зуб по нормальному заполнению межзубовой впадины, при этом в оптимальном соотношении находится продолжительность работы пилы (T) и отклонение зубьев в боковом направлении (y).

В третьем разделе приведена методика проведения и планирования экспериментов, а также анализ полученных результатов.

Поскольку стружкообразование при пилении на лесопильных рамах происходит путем непосредственного сжатия древесины поперек волокон передней гранью резца в замкнутом пространстве, эксперименты ставились именно на сжатие древесины поперек волокон в замкнутом пространстве.

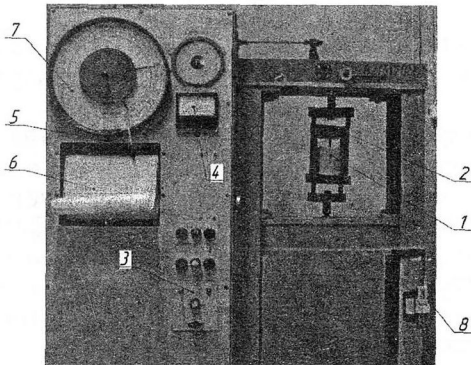
Для проведения эксперимента было изготовлено специальное экспериментальное приспособление. Чтобы снизить до минимума теплопоглощение охлажденного до определенной температуры образца, стальная обойма, куда закладывался образец, была теплоизолирована. Ввиду сложности изготовления стальной обоймы с прямоугольным отверстием, было принято решение отступить от общепринятой формы образцов древесины для проведения испытаний, поэтому для экспериментов были изготовлены образцы цилиндри-

ческой формы таким образом, чтобы дальнейшие испытания на сжатие происходили в направлении поперек волокон. Все образцы в пределах одной породы изготавливались из одной доски. Это сделано для того, чтобы обеспечить необходимую точность при проведении испытаний. Кроме древесины лиственницы для проведения экспериментов использовалась древесина сосны для того, чтобы проверить влияние породы на коэффициент уплотнения.

Образцы закладывались в морозильную камеру «Бирюса 280». Температура в камере поддерживалась в пределах от 0 °С до «минус» 35 °С с помощью электронного блока управления. Погрешность температуры в рабочем объеме камеры ± 1 °С от заданной.

Перед экспериментом образцы взвешивались на электронных весах марки MW – II. Взвешивание образцов перед и после эксперимента производилось для того, чтобы в дальнейшем уточнить влажность образца в момент проведения испытаний. Эксперимент выполнялся на экспериментальной установке на базе разрывных машин Р-5 и Р-0,5 (рисунок 2). Приборы и установка для проведения эксперимента прошли стандартную метрологическую поверку, отвечали требованиям технических условий.

Для выявления характера зависимости коэффициента уплотнения от температуры и влажности были проведены однофакторные эксперименты. Для проведения данного эксперимента были изготовлены образцы из древесины сосны диаметром 20 мм и высотой 25 мм. Приняты следующие значения температур: «минус 35°С», «минус 25°С», «минус 15°С», «минус 5°С», «0°С», «плюс 5°С»; и значения влажности: 12 – 14 %; 30 – 50 %; 75 – 120 %. Во время сжатия образца фиксировалась его деформация в мм. После снятия нагрузки измерялась масса образца в граммах.



1 - опытное приспособление; 2 - реверсора; 3 - пульт управления;
4 - указатель скорости перемещения пуансона;
5 - самопишущий прибор; 6 - диаграмма «нагрузка-деформация»;
7 - шкала нагрузки сжатия; 8 - штангенциркуль с электронной шкалой

Рисунок 2 – Экспериментальная установка на базе разрывной машины Р – 0,5

Экспериментальное значение коэффициента уплотнения определялось по формуле

$$\alpha_{\text{упл}} = V_{c(\text{упл})} / V_c, \quad (9)$$

где $V_{c(\text{упл})}$ - конечный объем образца, см^3 ;

V_c - начальный объем образца, см^3 .

Для того, чтобы проверить разработанную математическую модель (6), подставили в нее экспериментальные данные влажности и плотности и сравнили полученные данные с экспериментальными.

Анализ результатов показал, что разница между значениями коэффициентов уплотнения по экспериментам и по теоретической формуле не превышает 10 %. Поэтому полученную зависимость (6) целесообразно использовать при технологических расчетах значений коэффициентов уплотнения при распиловке мерзлой древесины лиственницы на лесопильных рамах.

Результаты обработки выходных данных представлены следующими зависимостями (рисунок 3).

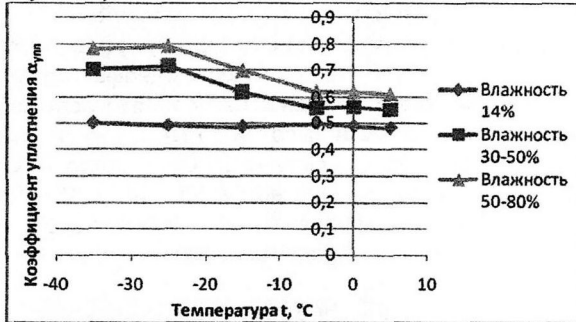


Рисунок 3 – Влияние температуры и влажности на коэффициент уплотнения древесины сосны при сжатии в замкнутом пространстве поперек волокон

Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением плотности коэффициент уплотнения древесины увеличивается.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. При сжатии сухой древесины значение коэффициента $\alpha_{\text{упл}}$ практически не зависит от температуры, так как свободная влага отсутствует, и сжимаются только клетки древесины и межклеточные пустоты, и в 1,2 – 1,6 раза ниже значений коэффициента $\alpha_{\text{упл}}$ для древесины с влажностью выше предела гигроскопичности.

2. При сжатии древесины в диапазоне температур от «минус» 5 °C до 0 °C значение $\alpha_{\text{упл}}$ не изменяется и равно значению при положительных температурах $\alpha_{\text{упл}} = 0,5 - 0,6$. Это связано с тем, что лед при сжатии под действием сил трения начинает плавиться и свободная влага выжимается из древесины. Таким образом, с точки зрения уплотнения стружки не обязательно нагревать древесину до положительных температур, достаточно нагревать ее до

температур, близких к нулю («минус» 5 °С - «минус» 2 °С). Это позволит экономить значительную долю энергии, так как большая ее часть затрачивается именно на превращение льда в воду, что подтверждает гипотезу, выдвинутую нами в первом разделе.

3. При сжатии древесины с влажностью выше предела гигроскопичности в диапазоне температур от «минус» 5 °С до «минус» 25 °С значение $\alpha_{упл}$ увеличивается с понижением температуры на 75 %, причем значение $\alpha_{упл}$ тем выше, чем выше влажность древесины. Значения коэффициента уплотнения древесины с влажностью 30 % - 50 % в среднем на 10 % ниже значений коэффициента $\alpha_{упл}$ древесины с влажностью 50 % - 80 %. С понижением отрицательной температуры в древесине со свободной влагой постепенно образуется лед, и чем ниже температура, тем меньше содержание влаги и выше прочность льда. При сжатии древесины лед не может быть вытеснен, и значение коэффициента уплотнения увеличивается.

4. При снижении температуры ниже «минус» 25 °С свободная и часть связанной влаги уже заморожены, поэтому значение коэффициента $\alpha_{упл}$ не изменится и не превышает значения 0,8.

5. При сжатии ядровой древесины с влажностью 12-14% значения коэффициент уплотнения в 1,2 раза выше, чем при сжатии заболонной древесины; при сжатии влажной древесины, коэффициент уплотнения практически одинаков.

6. Характер зависимости коэффициента $\alpha_{упл}$ при сжатии вдоль и поперек волокон схож, значения коэффициента выше при сжатии вдоль волокон на 12 % - 15 %. Это связано с прочностью самой древесины при сжатии: предел прочности на сжатие вдоль волокон выше, чем при сжатии поперек волокон.

7. По результатам проведенного эксперимента установлено, что зависимость коэффициента $\alpha_{упл}$ от температуры и влажности имеет нелинейный характер, поэтому в дальнейшем многофакторный эксперимент ставился с использованием В-плана второго порядка.

Многофакторный эксперимент был реализован с использованием теории планирования эксперимента по плану V_4 на древесине лиственницы. В качестве независимых переменных факторов выбраны: диаметр образца d (x_1), мм; влажность W (x_2), %; 3 - температура t (x_3), °С; скорость перемещения пуансона V (x_4), мм/мин. Перед проведением эксперимента была проведена проверка гипотезы на нормальное распределение, которая подтвердилась.

В связи с тем, что методика проведения экспериментов предполагает обработку большого количества экспериментальных данных, так как выходных величин было две и опыты проводились для двух направлений сжатия (всего 480 опытов), то для ускорения процесса обработки была использована прикладная программа « V_plans », разработанная на кафедре станков и инструментов СибГТУ, расчета В-планов второго порядка на основе метода наименьших квадратов для получения уравнений регрессии в виде полинома второй степени и оптимизации данного уравнения по условиям минимизации и максимизации выходного параметра.

После обработки данных эксперимента были получены уравнения регрессии коэффициента уплотнения древесины лиственницы в зависимости от переменных факторов для радиального и тангентального сжатия. В результате проверки на принадлежность значений из одной выборки к другой выяснилось, что значения коэффициента уплотнения при тангентальном сжатии принадлежат к выборке значений при радиальном сжатии. Поэтому значения этих функций были объединены, что позволило увеличить точность наших экспериментов.

В результате мы получили следующее уравнение регрессии

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,782 + 0,023x_1 + 0,068x_2 - 0,065x_3 + 0,026x_4 - 0,026x_1^2 - 0,047x_3^2 + 0,020x_2x_3 \quad (10)$$

В натуральных обозначениях факторов уравнение примет следующий вид

$$\alpha_{y_{\text{пл}}}(d, W, t, V) = 0,0719 + 0,0241d + 0,00581W - 0,0210t + 0,00217V - 0,000722d^2 - 0,000326t^2 + 0,000104Wt. \quad (11)$$

Образно-знаковые модели зависимости (10) представлены на рисунке 4.

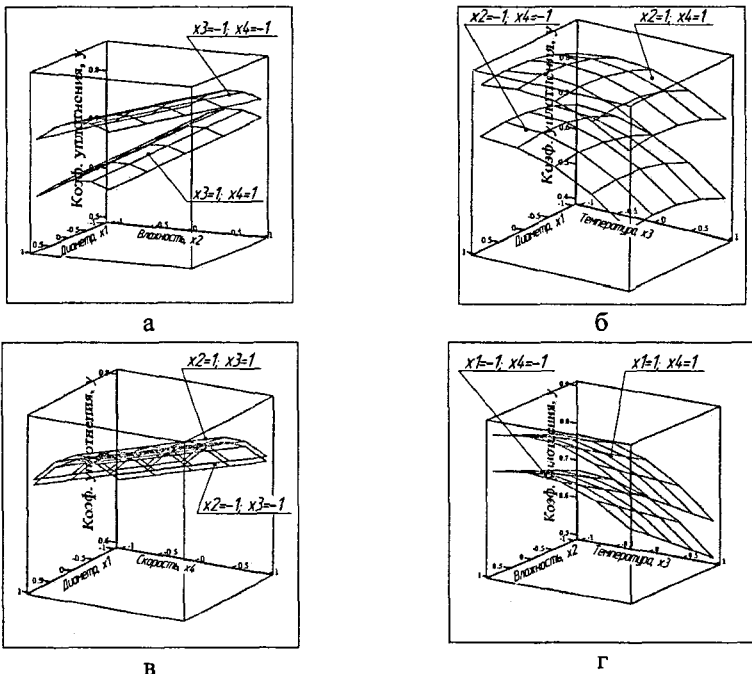


Рисунок 4 – Зависимость значений коэффициента уплотнения древесины лиственницы от диаметра, температуры и влажности образца, скорости нагружения пуансона

Анализ полученных уравнений и образно-знаковых моделей показал:

1. Значения коэффициента уплотнения одинаковы при радиальном и тангентальном сжатии, расхождение не превышает 1,3 %.

2. Максимальное влияние на значение коэффициента оказывает температура (x_3) и влажность (x_2). С повышением температуры и снижением влажности значение коэффициента уплотнения снижается. Влияние температуры на коэффициент уплотнения нелинейно. Понижение температуры от «минус» 3 °С до «минус» 27 °С при влажности 40 % приводит к увеличению значения коэффициента уплотнения на 30 %; при влажности 72 % - значение $\alpha_{упл}$ увеличивается на 12 % при средних значениях диаметра образца и скорости нагружения. Увеличение влажности образца с 40 % до 72 % приводит к увеличению коэффициента $\alpha_{упл}$ на 15 % - 30 % на средних уровнях варьирования диаметра образца и скорости нагружения.

3. С увеличением диаметра образца и скорости нагружения значение коэффициента уплотнения растет незначительно, в среднем на 6 %.

4. Разница между значениями коэффициентов уплотнения, полученных экспериментальными и аналитическими исследованиями (по зависимости (6)) не превышает 10 %, что подтверждает целесообразность применения полученной нами формулы для определения значения коэффициента уплотнения древесины лиственницы в зависимости от температуры и влажности.

Таким образом, достоверность теоретической зависимости (6) подтверждена экспериментально для древесины сосны и лиственницы.

Полученные математические модели по определению зависимости условного предела прочности для древесины лиственницы от диаметра образца, температуры и влажности древесины, скорости нагружения показали, что характер зависимости условного предела прочности от исследуемых факторов для радиального и тангентального сжатия идентичен. А так как при распиловке бревен на лесопильных рамах, древесина сжимается передней гранью зуба рамной пилы и в радиальном, и в тангентальном направлении, было решено получить математическую модель по смешанным значениям функции условного предела прочности. В нормализованных обозначениях уравнение регрессии для условного предела прочности древесины лиственницы имеет вид:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 11.430 - 1.863x_1 + 1.725x_2 - 3.354x_3 + 0.459x_4 - 1.189x_3^2 - 0.310x_1 * x_2 - 1.230x_2 * x_3 + 0.721x_1 * x_3 + 0.307x_2 * x_4 \quad (12)$$

На основании уравнения (11) были получены образно-знаковые модели (рисунок 5).

Анализ результатов проведенных экспериментов показал:

1. При отрицательных температурах значение условного предела прочности возрастает с понижением температуры, и тем больше, чем больше влажность образца. При влажности 40 % значение условного предела прочности возрастает в 1,67 раза с изменением температуры от «минус» 3 °С до «минус» 27 °С; при влажности 72 % - в 2,24 раза. Повышение влажности также приводит к увеличению значения условного предела прочности на

15 % - 35 %. Это связано с превращением свободной и связанной влаги древесины в лед.

2. При температуре «минус» 3°С лед под действием сил сжатия плавится, и свободная влага выжимается из образца, снижая силу сжатия на 33 - 37 %.

3. Увеличение диаметра образца, приводит к снижению условного предела прочности в 1,2 – 1,4 раза. Это объясняется с объемным содержанием поздней древесины в образцах с разным диаметром.

4. Увеличение скорости сжатия приводит к небольшому увеличению условного предела прочности на 7 % - 10 %.

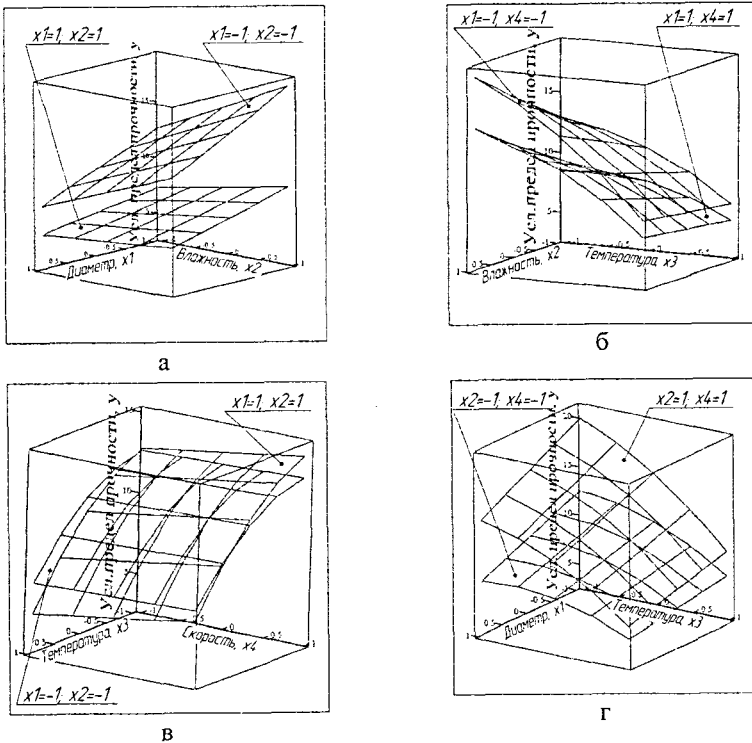


Рисунок 5 – Зависимость условного предела прочности древесины лиственницы от диаметра образца, влажности и температуры древесины и скорости нагружения пуансона

В целом, характер зависимости условного предела прочности при сжатии образцов в поперечном направлении от различных факторов близок к уже известным данным по сжатию в этом же направлении. Однако, при сжатии в замкнутом пространстве, существенная разница условного предела

прочности при сжатии в радиальном и тангентальном направлении не проявилась. Дело в том, что в этом случае, бокового растяжения стенок клеток древесины не происходит, и соответственно уравниваются значения условного предела прочности для радиального и тангентального направления сжатия.

В четвертом разделе приведены разработанные рекомендации для лесопильных предприятий по подготовке и распиловке мерзлой древесины лиственницы на двухэтажных лесопильных рамах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработаны уравнения, устанавливающие математическую зависимость для определения значения коэффициента уплотнения древесины $\alpha_{упл}$, которая учитывает изменение плотности, влажности и температуры мерзлой древесины. Использование формулы позволяет рассчитывать предельное значение коэффициента уплотнения древесины $\alpha_{упл}$ для разных пород при различных температурно-влажностных состояниях. Достоверность теоретической формулы для древесины сосны и лиственницы была подтверждена экспериментально. Полученные предельные значения коэффициента уплотнения на 20 % - 30 % ниже значений коэффициента уплотнения, рекомендуемых в известных режимах распиловки.

Применение обоснованного значения коэффициента уплотнения древесины $\alpha_{упл}$ при распиловке мерзлой лиственницы позволяет увеличить величину подачи за один двойной ход и, тем самым, повысить производительность лесопильной рамы в среднем на 5 % - 7 %.

2. Теоретические и экспериментальные исследования позволили выявить закономерности изменения значений коэффициента уплотнения $\alpha_{упл}$ и условного предела прочности $\sigma_{сж}$ в зависимости от плотности древесины, ее температуры в отрицательном диапазоне и влажности:

- интенсивный рост значений $\alpha_{упл}$ и $\sigma_{сж}$ наблюдается при переходе свободной влаги в лед;

- зависимости $\alpha_{упл} = f(t, W, \rho)$, $\sigma_{сж} = f(t, W, \rho)$ при сжатии в замкнутом пространстве имеют нелинейный характер;

- значения коэффициента уплотнения $\alpha_{упл}$ и условного предела прочности $\sigma_{сж}$ древесины увеличиваются с повышением влажности и понижением значения отрицательной температуры, а также с увеличением плотности древесины;

- при сжатии образцов с температурами от «минус» 5 °С до 0 °С, значения коэффициента уплотнения и условного предела прочности древесины не изменяются. То есть при температурах, близких к нулю (от «минус» 4 °С до

«минус» 2 °С), коэффициент уплотнения древесины и силы сопротивления резанию существенно уменьшаются.

3. Получены уравнения регрессии, которые показывают зависимость значений коэффициента уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ и условного предела прочности $\sigma_{\text{сж}}$ мерзлой древесины от размера образца, влажности и температуры древесины, а также от скорости нагружения пуансона. Анализ полученных уравнений показал, что:

- значения коэффициента уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ и условного предела прочности $\sigma_{\text{сж}}$ при сжатии мерзлой древесины не зависят от направления волокон;
- влияние на коэффициент уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ размера образца и скорости нагружения пуансона незначительно, поскольку при увеличении диаметра образца с 8 мм до 20 мм значение $\alpha_{\text{упл}}$ возрастает в среднем на 6 %, а повышение скорости с 4 мм/мин до 28 мм/мин приводит к росту значения $\alpha_{\text{упл}}$ на 7,5 %;
- при одновременном повышении температуры и снижении влажности мерзлой древесины значение коэффициента уплотнения $\alpha_{\text{упл}}$ уменьшается на 18-30 %;
- увеличение диаметра образца в диапазоне от 8 до 20 мм приводит к снижению величины условного предела прочности $\sigma_{\text{сж}}$ на 5 % - 7 %. Для древесины с влажностью 72 % при снижении температуры от «минус» 3 °С до «минус» 27 °С значение $\sigma_{\text{сж}}$ повышается на 20 % - 30 %.

4. Разработаны математические модели для определения площади впадины зубьев пилы, устойчивости зубьев и продолжительности работы рамной пилы в зависимости от параметров геометрии зубьев режущего инструмента, используемые при распиловке мерзлой древесины лиственницы.

На основании полученных уравнений для распиловки мерзлой древесины лиственницы были рекомендованы оптимальные с точки зрения обеспечения максимального объема впадины, устойчивости работы зубьев в боковом направлении и продолжительности работы пилы геометрические параметры зубьев. Для распиловки мерзлой древесины лиственницы рекомендуется использовать следующие линейно-угловые параметры зубьев для шага 26 мм: передний угол $\gamma = 13^\circ$; задний угол $\alpha = 26^\circ$; высота зуба $h = 18$ мм; длина задней грани $l = 11$ мм; радиус закругления впадины $r = 6$ мм; для шага 32 мм: $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 24^\circ$; $h = 22$ мм; $l = 14$ мм; $r = 7$ мм; для шага 40 мм: $\gamma = 17^\circ$; $\alpha = 22^\circ$; $h = 27$ мм; $l = 17$ мм; $r = 8$ мм.

5. Разработана методика проведения экспериментов по сжатию мерзлых образцов древесины в замкнутом пространстве, которая позволяет определять значения коэффициента уплотнения и условного предела прочности ориентированных непосредственно на процесс пиления.

6. Впервые были получены значения коэффициентов уплотнения древесины для распиловки лиственницы в диапазоне температур от 0 °С до «минус» 27 °С, определены геометрические и угловые параметры зубьев рамной пилы для условий зимней распиловки лиственницы, на основании

которых разработаны рекомендации по распиловке мерзлой древесины лентенницы на лесопильных рамах.

7. Предложены рекомендации по подготовке мерзлых бревен перед распиловкой на лесопильных рамах, которые обеспечивают снижение энергоёмкости. Удельный расход тепла при подогреве мерзлой древесины до температуры «минус» 4 °С «минус» 2 °С снижается на 110 – 125 МДж/м³. А при пилении под действием сжатия срезаемой древесины передней гранью зуба пилы лед в мерзлой древесине при этих температурах плавится и свободная влага выжимается, что обеспечивает существенное снижение сил резания.

8. Результаты исследования внедрены на предприятиях: ООО «Сибирь Бельзона Сервис» (г. Красноярск) и ОАО «Лесосибирский ЛДК №1» (г. Лесосибирск).

Основные положения диссертации опубликованы в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ

1 Вишуренко, Н.В. Зависимость коэффициента уплотнения древесины от гидротермических факторов [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2011. - № 4. – С. 63 – 69.

2 Вишуренко, Н.В. Повышение эффективности распиловки мерзлой древесины на лесопильных рамах [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // Системы. Методы. Технологии. – 2012. - №1. – С. 123 – 128.

В других научных изданиях:

3 Вишуренко Н.В. Повышение производительности лесопильных рам при распиловке мерзлой древесины [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // Деревообрабатывающая промышленность. – 2011. - №2. – С.8 – 10.

4 Спицын, И.Н. Исследование влияния влажности и температуры на степень уплотнения древесины в замкнутом пространстве [Текст] / И.Н. Спицын, И.С. Корчма, Н.В. Вишуренко // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов по итогам международной научно – технической конференции «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития». Часть 2. – Брянск: БГИТА, 2008. – С. 138 – 140.

5 Вишуренко, Н.В. О влиянии отрицательных температур на деформирование древесины в замкнутом пространстве [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.Н. Спицын, И.С. Корчма // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 22. – Брянск: БГИТА, 2009. – С. 235 – 238.

6 Корчма, И.С. Анализ факторов, сдерживающих производительность при распиловке древесины [Текст] / И.С. Корчма, И.Б. Нестерова, Н.В. Вишуренко // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция (20-21 ноября 2008 г.). Сборник статей по материалам конференции. – Красноярск: СибГТУ, Том 3, 2009. – С.160 – 163.

7 Вишуренко, Н.В. Анализ влияния гидротермического состояния древесины на условия ее деформирования [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно – практическая конференция (14-15 мая 2009 г.). Сборник статей студентов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, Том 2, 2009. – С. 12 – 15.

8 Спицын, И.Н. Влияние температуры и влажности на деформирование древесины в замкнутом пространстве при сжатии поперек волокон [Текст] / И.Н. Спицын, Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма, Д.Н. Деревянных // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно – практическая конференция (15-16 мая 2008 г.). Сборник статей студентов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, Том 2, 2009. – С. 38 – 40.

9 Вишуренко, Н.В. Влияние температуры и влажности на прочность древесины при сжатии в замкнутом пространстве [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.Н. Спицын, И.С. Корчма // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 24. – Брянск: БГИТА, 2009. – С 70 – 73.

10 Вишуренко, Н.В. Влияние различных показателей процесса прессования на условный предел прочности [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 80-летию СибГТУ (13-14 мая 2010 г.). Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, Том 1, 2010. – С. 209 – 211.

11 Вишуренко, Н.В. Особенности сжатия мерзлой древесины в замкнутом пространстве [Текст] / Н.В. Вишуренко, И.С. Корчма // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию СибГТУ. Том 1. – Красноярск: СибГТУ, 2010. – С.129-131.

12 Вишуренко, Н.В. Влияние гидротермических факторов на механические свойства и процесс деформирования древесины при сжатии в замкнутом пространстве [Текст] / Н.В. Вишуренко, А.В. Штанько // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием). (12-13 мая 2011 г.). Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, Том 1, 2011. – С. 183 – 186.

13 Вишуренко, Н.В. Влияние геометрических параметров зубьев на производительность лесопильных рам при распиловке мерзлой древесины [Текст] / Н.В. Вишуренко // Актуальные проблемы лесного комплекса/Под ред. Е.А.Памфилова. Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 29. – Брянск: БГИТА, 2011. – С 63 – 66.

14 Вишуренко, Н.В. Определение площади межзубовой впадины рамной пилы [Текст] / Н.В. Вишуренко, А.А. Воробьев, И.С. Корчма // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции 25 - 26 октября 2012 г. Том 1. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – С.115-119.

15 Вишуренко, Н.В. Определение прочности, устойчивости и долговечности зуба рамной пилы [Текст] / Н.В. Вишуренко, А.А. Воробьев, И.С. Корчма // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции 25 - 26 октября 2012 г. Том 1. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – С.120-124.

16 Вишуренко, Н.В. Определение оптимальной формы зуба рамной пилы для распиловки мерзлой древесины [Текст] / Н.В. Вишуренко, А.А. Воробьев, И.С. Корчма // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции 25 - 26 октября 2012 г. Том 1. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – С.124-127.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

14 Вишуренко, Н.В., Воробьев А.А., Корчма И.С. Программа «Frame_Saw»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Российская Федерация. № 2012616762 от 27 июля 2012 г.

15 Воробьев, А.А., Спицын И.Н., Вишуренко Н.В. Программа «B_plans»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Российская Федерация. № 2011616377 от 15 августа 2011 г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 660049, г.Красноярск, проспект Мира, 82, ученому секретарю диссертационного совета.

Сдано в производство «19» марта 2013 г.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 1,0.
Изд. № 4/1. Заказ № 1668. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр СибГТУ
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82
Факс (391) 211-97-25
Тел. (391) 227-69-90