

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

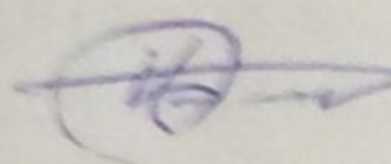
Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени  
С.М. Кирова

Кафедра иностранных языков

## Реферат

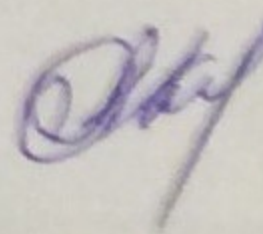
на тему «Способы повышения эффективности производства  
технологической щепы из низкокачественной древесины»

Выполнил: аспирант ЛИФ



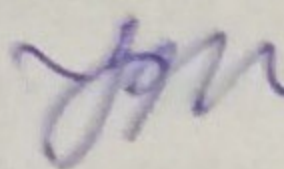
Бастриков Д. В.

Отрасль: 35.06.04



Научный руководитель: Д.т. н,

доцент Куницкая О.А.



Проверила: к.п.н. Бобрицкая Ю.М.

Санкт-Петербург

2015

**Цель проекта:** повышение эффективности линий изготовления технологической щепы из низкокачественной древесины (НКД) за счет обеспечения точной оперативной автоматизированной оценки качества переработки и получаемой щепы и управления процессом производства на основе математических моделей работы измельчающих барабанов, а также повышение производительности линий, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Разобрать и исследовать математические модели измельчения древесины в барабанах, учитывающие особенности разрушения коры при циклических нагрузках, включая ее уплотнение и, как следствие, изменение ее упруго-пластических и прочностных свойств.
2. Разобрать методику экспериментальных исследований для получения данных об адекватности разработанных математических моделей
3. Провести экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях для проверки адекватности разработанных математических моделей
4. Разработать новые технические решения, обеспечивающие повышение эффективности линий изготовления технологической щепы за счет точной оперативной автоматизированной оценки качества измельчения и получаемой щепы и управления процессом производства, а также повышение производительности линий, снижение энергоемкости процесса и потерь древесины.

**Методы исследования:** Теоретической основой проекта явились работы ведущих отечественных и зарубежных ученых по повышению эффективности работы лесопромышленных складов. В работе использованы базовые методы научно-технического познания, математического моделирования, сопротивления материалов, механики контактного разрушения, измерения и обработки экспериментальных данных.

### **Описание проекта**

В настоящее время технологическая щепа является самым востребованным полуфабрикатом, производимым на лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятиях. Для ее производства используется деловая (балансовая) и низкокачественная древесина, а также отходы древесины лесозаготовок и деревообработки. Более трети всей заготавливаемой древесины, в конечном итоге направляется на производство технологической щепы. Она, в свою очередь, служит сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности, производства различных видов плитных материалов на основе древесины (ДСтП, ДВП, MDF, OSB и др.), производства большого количества продуктов лесохимии.

Согласно ГОСТ 15815-83 не допускается, или существенно ограничивается, наличие коры, гнили, минеральных включений и древесной зелени. Поэтому, первичными операциями участков по производству технологической щепы являются окорка и удаление гнили, в случае переработки низкокачественной древесины.

В зависимости от дальнейшего назначения технологической щепы, она лимитируется по длине, поэтому после ее производства в рубительной машине она подлежит сепарации на различных сортировочных установках.

Наиболее ответственными и энергоемкими операциями производства технологической щепы, а также приводящими к наибольшим потерям древесины, в случае неоптимальности выполнения, являются окорка и рубка в щепу.

Например, в ЦБП кора, содержащая большое количество экстрактивных веществ, усложняет и удорожает технологический процесс производства полуфабрикатов, ухудшая при этом качество продукции. Кора во время варки поглощает в два раза больше активной щелочи, чем древесина, тем самым обедняется варочный раствор и нарушается режим варки щепы. В процессе сульфатной варки большая часть коры растворяется, а оставшаяся ее часть в волокнистой массе повышает сорность продукции.

Для окорки древесины в древесно-подготовительных цехах деревоперерабатывающих предприятий наибольшее распространение получили окорочные барабаны, работающие по методу групповой окорки трением, что обеспечивает высокую производительность. Однако, существующие технологические процессы, как на отечественных, так и на зарубежных предприятиях чрезвычайно энергоемки и часто приводят к значительным потерям древесины при ее подготовке. Это во многом связано с отсутствием средств автоматизации оперативного управления этими процессами, а также отсутствием точных математических моделей, позволяющих определить оптимальные показатели процесса групповой окорки, в зависимости от параметров применяемых окорочных барабанов и характеристик поступающего на обработку древесного сырья.

### **Теоретические исследования процесса разрушения коры при групповой механической обработке лесоматериалов в окорочном барабане**

Особенность реализации групповой механической окорки заключается в реализации механизма взаимодействия бревен между собой и с элементами конструкций установок.

В процессе барабанной окорки можно выделить в пределах пространства обработки пять различных зон и наибольший интерес с позиции механики взаимодействия бревен в окорочном барабане представляют собой четвертая зона – зона обрушения, где бревна соударяются друг с другом, и пятая зона – удара, в которой бревна ударяются о стенку барабана или о размещенные на его внутренней поверхности рабочие органы.

Интенсивность очистки древесины от коры, качество окорки и потери древесины при этом процессе зависят от необходимого и достаточного числа ударов

( $N$ ) определенной силы  $P$ , которые испытывает бревно определенного диаметра ( $d$ ) и длины ( $l$ ) за период времени ( $t$ ) нахождения в барабане, диаметр и длина которого составляют соответственно  $D$  и  $L$ .

Величины  $N$  и  $P$  в свою очередь зависят от физико-механических, структурных и прочностных свойств балансов, состояния (влажности  $W$  и температуры  $T$ ), а также емкости барабана, его степени загрузки, угловой скорости вращения  $\omega$ , определяющих в совокупности скорость ( $v$ ) соударения балансов между собой и элементами барабана.

Стохастическая модель процесса соударений бревен в барабане предложена С.П. Бойковым, в ней качество окорки связано со временем обработки. На основе биномиального распределения числа ударов, приходящихся на элементарную площадку  $\Delta s$  за период времени  $t$ , получено соотношение для определения математического ожидания ( $M$ ) качества окорки:

$$M = 100 \left| 1 - \exp(-\lambda t) \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \right|,$$

Где  $\lambda$  – интенсивность ударов или среднее их количество, получаемых одним участком в единицу времени. Величина  $N$  – основополагающий параметр соотношения (1) – зависит от силы удара  $P$  и характеристик коры.

Параметры  $N$  и  $\lambda$  не в полной мере отражают такой сложный процесс как групповая окорка и недостаточно учитывают закономерности ударных процессов в барабане в летние и зимние сезоны. Предложена модель послойного перемешивания балансов в барабане при положительных и отрицательных температурах. Влажность сырья, его физико-механические и прочностные свойства при этом учитываются интегрально путем введения специальных параметров. Полученные в ходе исследований соотношения для определения скоростей движения коры и древесины содержат безразмерный параметр  $\theta$ , названный степенью сопротивления элемента коры удару, равный произведению циклической частоты колебаний на период продолжительности удара.

Число ударов  $N$  принимается равным отношению ударного импульса  $I_y$ ,  $H \cdot c$ , необходимого для появления пятна окорки площадью  $\Delta s$ , к величине ударного импульса  $I_o$ ,  $H \cdot c$ , возникающего при единичном ударе бревна в процессе его обрушения. Величину  $I_o$  определяют с учетом характерных размеров бревна и барабана, а также угла наклона  $\alpha$  поверхности обрушения. Величина  $I_y$  в конечном счете устанавливается экспериментально в процессе непосредственного нанесения по бревну акцентированных ударов с помощью опытных установок. Суммированные значения  $\sum I_y$  и  $\sum \Delta s$  являются интегральными характеристиками необходимых силовых затрат для достижения поставленных целей окорки в течение ее полного периода времени  $T_o$ .

Суммарное количество ударов  $N$ , которым подвергается вся совокупность элементарных участков  $\Delta s$ , определяется геометрическими параметрами баланса и барабана и может быть оценено соотношением:

$$N_{\Sigma} = \frac{360}{\arccos\left(1 - \frac{0.42}{2(1 - K_d)K_1}\right)}$$

Где коэффициенты  $K_d$  и  $K_1$  представляют собой соответственные отношения диаметров  $d/D$  и длин  $l/L$ .

В процессе окорки материалов реализуются различные условия по фактору числа ударов  $N_{\Sigma}$ , причем при уменьшении размеров балансов число ударов значительно возрастает.

Объем коры  $\sum V_k$  в барабане зависит от объема  $V_b$  последнего, коэффициента его заполнения  $k_z$ , доли коры  $k_k$ , в общей массе ствола и коэффициента  $K_n$  полндревесности укладки бревен в барабане, который также зависит от безразмерных коэффициентов  $K_d$  и  $K_1$ .

Величину импульса  $I_y$  и процесс образования пятна окорки целесообразно оценить с позиций механики контактного разрушения такой сложной среды как кора и древесина. Балансы, взаимодействующие с поверхностью барабана, испытывают значительные по величине нагрузки за счет более высокой жесткости корпуса барабана. Бревно испытывает неравнозначные по поверхностному распределению силы соударений и в его торцевых частях наблюдается процесс их «размочаливания».

Рассмотренный процесс взаимодействия балансов не отражает особенности контактного разрушения различных участков массива коры и древесины как сложный структур, обладающих набором характерных физико-механических свойств, влажностью и температурой. Указанные параметры оказывают существенное влияние на процесс окорки.

Бревно как совокупность цилиндров с диаметром и высотой  $d$ , представим как совокупность равновеликих по объему шаров диаметром  $D_{ш} = \sqrt{1.5d}$ . Количество шаров, приходящихся на оно бревно, равно целой части плюс единица отношения объема бревна  $V_{бр}$  к объему шара  $V_{ш}$ . Два бревна принимаются как мягкие по отношению к жесткой поверхности барабана.

Выделим основные схемы взаимодействия мягких шаров с поверхностью барабана, которую, в свою очередь, будем рассматривать как жесткий шар  $D_{жс}$  с бесконечно большим диаметром  $D_{жс} = \infty$ : схема I: « $D_{ш} - D_{ш}$ » - взаимодействие двух мягких шаров; схема II « $D_{ш} - D_{жс}$ » - взаимодействие мягкого и жесткого шаров; схема III « $D_{ш} - D_{жс}$ » - взаимодействие мягкого шара с жестким, на поверхности которого закреплен нож (твердый индентор). Эти схемы будем рассматривать в рамках

постановки квазистатических задач ударного взаимодействия двух сферических контактирующих тел. Для обоснования математической модели остановимся на схеме II.

При воздействии ударной нагрузки силой  $P$  основными геометрическими параметрами пятна контакта (его глубины и радиуса) являются величины контактного сближения  $h$  и радиуса контактной площадки  $a$ . Они функционально связаны между собой, однако ударные процессы в механике контактного разрушения рассчитываются через величину сближения  $h$  и с точки зрения качества окорки нас интересует очистка на полную глубину коры. Поэтому за основную геометрическую характеристику примем параметр  $h$ . По мере формирования пятна окорки контактная сила  $F$  растет и определяется в виде:

$$F = kh \frac{3}{2},$$

Где коэффициент пропорциональности  $k$  зависит от упругопластических характеристик мягкого шара (модуля Юнга  $E$  и коэффициента Пуассона  $\mu$ ) и его диаметра  $D_w$ :

$$k = \frac{\sqrt{D_w/2}}{3(1-\mu^2)}.$$

Дифференциальное уравнение движения среды на границе контакта при развитии пятна окорки вглубь массива коры имеет вид:

$$\frac{dh}{dt} = \sqrt{\frac{v^2 - 4kh}{\pi} - \frac{5v^2}{\pi}},$$

Где  $v$  – скорость движения бревна массой  $m$  в момент удара.

Наибольшее значение  $h=h_0$  достигается в момент времени, когда скорость сближения /уравнение/, откуда величина максимального контактного сближение  $\frac{dh}{dt} = 0$  от единичного удара равна:

$$h_0 = \left( \frac{5}{4k} m v^2 \right)^{2/5}.$$

Общая продолжительность удара  $\tau=\tau_0$  при этом составит:

$$\tau_0 = 3,2 \left( \frac{m^2}{v k^2} \right)^{1/5},$$

Интегрирование дифференциального уравнения (5) с учетом (6) при начальных условиях: в момент  $\tau=0$  сближение  $h=0$  позволяет получить функцию изменения во времени контактного сближения  $h=h(\tau)$ :

$$h = h_k \sin\left(\frac{\sqrt{\pi \tau}}{2,94 h_k}\right),$$

Которую будем рассматривать на участке возрастания  $h$  от  $0$  до  $h_0$ .

Радиус контактной площадки  $a$  зависит от  $h$  и описывается соотношением:

$$a = k \sqrt{\frac{k(\tau - \mu^2 \tau)}{\tau}}.$$

С илу удара  $P$  вычислим следующим образом: вначале из закона сохранения энергии определяем величину  $v=(2gH)^{0,5}$ , где  $H$  – высота обрушения бревен (максимальное значение  $H=D-d$ ), а из закона сохранения импульсов движения – силу  $P=mt/\tau_0$ , причем  $\tau_0$  определяется из (7).

Расчеты с помощью соотношения (3)-(9) производились таким образом, чтобы учесть опытные данные предшественников. В частности, применительно к условиям обработки летних балансов сосны влажностью  $W=40-60\%$  диаметром  $d=0,12$ м, длиной  $l=2$ м в окорочном барабане диаметром  $D=2,2$ м и длиной  $L=4,3$ м. При таком диаметре бревна толщина коры принята  $h_k=0,02$ м. Физико-механические свойства коры принимались с учетом влияние влажности  $W$  на изменение плотности коры  $\rho_k$ .

Для сухой коры при  $W=10\%$  величина  $\rho_k=370$  кг/м<sup>3</sup>, при  $W=40-60\%$  плотность возрастает до  $\rho_k=687\%$  кг/м<sup>3</sup>. Тогда масса бревна достигает  $m=15,55$  кг. Расчеты свидетельствуют, что в момент удара скорость соударения составила  $v=6,39$  м/с, а продолжительность удара –  $\tau_0=9,62$ м/с. Контактная сила достигла величины  $P=10,32$  кН и обеспечила достижение максимальной глубины контактного сближения  $h_0=0,021$ м, превышающую толщину коры  $h_k$ , т.е. в этом случае выполняется условие  $h_0 \geq h_k$ .

Установлено, что контактное сближение в направлении  $z$  отстает от развития контактной площадки в радиальном направлении  $r$  и если возникающие в массиве коры в процессе ударного взаимодействия сдвиговые нагрузки  $q_s$  достаточны для ее разрушения, то можно считать, что отделение данного участка на максимальную глубину  $h_0$  будет иметь место. Учитывая, что  $h \leq a$  при любом  $\tau$ , размеры разрушаемых площадок будем оценивать через величину  $h$ .

Величины среднего вертикального  $q_z$  при ударном взаимодействии шаров определим через параметры  $h$  и  $D_{ш}$ :

$$q_z = \frac{P}{\pi h D_{ш}}.$$

Величину радиального (горизонтального) давления с достаточной степенью точности определим через механизм бокового распора:

$$q_r = -\frac{1}{2-r} q_x.$$

После чего величину давления сдвига  $q_s$  на элемент коры определим как приведенное давление:

$$q_s = \sqrt{q_x^2 + q_r^2}.$$

Сравнивая полученные значения  $q_s$  с величиной предела прочности не мерзлой коры сосны на скалывание  $\sigma_{ск}=0,33$  Мпа, можно сделать вывод о том, что с начального момента времени удара вплоть до достижения максимального сближения выполняется условие:

$$q_s \geq \sigma_{ск}$$

Т.е. на полную глубину сближения  $h_o$  участок размером  $\Delta s = \pi h_o^2 = 1385 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. Будет полностью окорен. Величина ударного импульса при этом составила  $I_y = 99,34$  Н·с.

Для мерзлых балансов сосны величина  $\sigma_{ск} \geq 1,1$  МПа возрастает до 1,8 МПа с понижением температуры до  $T = 20^\circ\text{C}$ . Значит, в таких условиях установленные значения  $q_s$  не достаточны для реализации механизма сдвига в пределах элементарной площадки и не обеспечивают надлежащую окорку данного участка коры. В этом случае необходимо либо увеличивать силовое воздействие, включая использование ножей, либо улучшать состояние балансов – обрабатывать их паром или водой с целью снижения величины  $\sigma_{ск}$  до необходимого уровня. Это требует дополнительных затрат, а при использовании ножен обуславливает рост потерь древесины и «размочаливание» торцевых частей бревен. Для условий обработки балансов летней сосны при выполнении условия (13) видим, что для окорки элементарного участка достаточно одного удара о поверхность барабана, т.е. интегральные характеристики  $\sum I_y$  и  $\sum \Delta s$  совпадают с полученными одинарными значениями  $I_y$  и  $\Delta s$ .

Общий объем коры в обрабатываемых балансах для данных условий расчета составил  $\sum V_k = 0,059$  м<sup>3</sup> при следующих значениях технологических коэффициентов:  $k_3 = 0,5$ ,  $k_k = 0,15$  и  $K_n = 0,36$ . Максимально возможный объем разрушенной коры в пределах зоны контакта в результате единичного удара составляет величину  $V_k = \pi h k^3 = 127 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> т.е. минимально необходимое число ударов по всем элементарным участкам балансов  $N_\Sigma = 465$ .

На данном этапе математической модели не учитываем механизмы уплотнения коры в процессе циклического ударного взаимодействия с жесткой поверхностью



барабана (индентора), т.е. принимаем, что на каждом новом цикле процесс удара воспроизводится в полном объеме.

Одним из основных показателей процесса групповой окорки является продолжительность окорки ( $T_o$ ). Обработка мерзлых балансов характеризуется увеличением  $T_o$ , вследствие существенного увеличения предела прочности ( $\sigma_{ск}$ ) коры на скалывания. Это приводит к негативным последствиям – росту потерь древесины, размочаливанию торцов бревен и др.

Для определения необходимого времени окорки  $T_o$  получено соотношение, которое структурно можно представить как сложную функцию:

$$T_o = \frac{f_1(N, K) f_2(d, D, l) f_3(K_i)}{60 \Delta s},$$

где  $f_1(N, K) = \frac{1}{a} \ln \left( \frac{100 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{a^i}{i!}}{100 - a} \right),$

Причем параметр  $a=NK/100$  – среднее количество ударов за время окорки  $T_o$ ;

$$f_2(d, D, l) = \frac{6,65 D^2 l \beta}{a}, \quad \beta = \arccos \left( 1 - \frac{a^2}{2(D-d)^2} \right);$$

$f_3(K_i), i=1, 2, 3, 4,$  - функция безразмерных коэффициентов: заполнения барабана ( $K_1$ ), доли коры в общей массе ствола дерева ( $K_2$ ), полнодревесности ( $K_3$ ), взаимосвязи толщины коры и диаметра бревна ( $K_4$ ).

Анализ (14)-(16) показывает, что основным физико-механическими характеристиками ударного процесса при окорке являются  $N$  и  $\Delta s$ .

Из рассмотренных схем взаимодействия бревен (мягких шаров диаметром  $D_{ш}$ ) с поверхностью барабана (жесткий шар с бесконечно большим диаметром  $D_{жс}=\infty$ , в том числе шар  $D_{жс}$ , оснащенный ножом – твердым индентором), на первом этапе исследований остановимся на схеме II с гладкой поверхностью окорочного барабана. Математическая модель этой схемы базируется на решении квазистатических задач ударного взаимодействия двух сферических контактирующих тел. При воздействии ударной нагрузки силой  $P$  основными геометрическими параметрами пятна контакта (его глубины и радиуса) являются величины контактного сближения  $h$  и радиуса контактной площадки  $a$ . В том случае, если формируемая под действием силы  $P$  в пределах контактного пятна размером  $\Delta s = \pi h o^2$  сдвиговое усиление  $q_s$  не меньше величины  $\sigma_{ск}$  по всей глубине  $h_o$ , то имеет место эффективный процесс отдаления окорки на полную глубину  $h_o$ .

В ходе математического моделирования зависимости  $\Delta s$  от  $\sigma_{ск}$  для коры сосны и осины установлен экспоненциальный характер  $\Delta s(\sigma_{ск})$ . Это свидетельствует, что при групповой окорке мерзлых балансов в процессе ударного взаимодействия бревен

объемы разрушения резко снижаются. В результате количество необходимых ударов для окорки элементарного участка будет увеличиваться. Этот вывод нашел подтверждение при оценке зависимости  $N(T)$  для следующих условий окорки балансов сосны и осины:  $d=0,12$  м,  $l=2$  м,  $D=2,2$  м,  $L=4,3$  м,  $n=10$  об/мин,  $K_1=0,5$ ,  $K_2=0,1$  для сосны и  $K_2=0,18$  для осины,  $K_3=0,35$ ,  $K_4=0,0175$  для сосны и  $K_4=0,0415$  для осины. Заданное качество принято постоянным  $K=90\%$ .

Расчет показал, что при обработке мерзлых балансов древесины продолжительность процессов ударного взаимодействия бревен увеличивается кратно, что требует соответствующего увеличения времени  $T_o$  окорки материалов с учетом качества их обработки.

При групповой окорке мерзлых балансов сосны и осины  $T_o$  существенно возрастает по мере снижения  $T$  и, в частности, при окорке осины при температуре ниже  $-10^\circ\text{C}$  превышает значение  $T_o=60$  мин. Повышение требований к качеству окорки также требует увеличения  $T_o$ .

При плохих условиях находят применение технологии окорки с использованием на поверхности барабана ножей. В этой связи на втором этапе исследований рассмотрен процесс ударного взаимодействия массива коры толщиной  $h_k$  с ножом, размещенным на поверхности барабана. Будем считать, что нож имеет угол заострения  $\varphi_1$  и взаимодействует с поверхностью коры под углом  $\varphi_2=\pi-\varphi_1/2$ . Нож действует на поверхность коры с определенной силой удара  $P$  и в зоне контакта площадью  $\Delta s$  формирует соответствующие силовые динамические нагрузки.

В плоской постановке в системе нормальной (вертикальной)  $z$  и радиальной (горизонтальной)  $r$  координат определялись значения соответствующих осевых давлений –  $q_z$  и  $q_r$ , после чего устанавливалась величина результирующего приведенного давления  $q_s$ , обуславливающего разрушение элементарного слоя коры на глубину контактного сближения  $h_o$ .

Величину вертикального давления  $q_z$  определим в виде:

$$q_z = - \frac{q_o f(\zeta, \rho)}{2(1-\nu^2)},$$

Где  $f(\zeta, \rho)$  – двумерная функция безразмерных координат – вертикальной  $\zeta = z/h_o$  и горизонтальной  $\rho = r/h_o$ :

$$f(\zeta, \rho) = 0,511 \ln \left( \frac{b_0 \zeta^2 + 2b_0 b_1 \cos(\beta - \alpha) \zeta - b_1^2}{\zeta + \sqrt{\zeta^2 + \rho^2}} + \zeta \left( \frac{1}{\sqrt{\zeta^2 + \rho^2}} - \frac{\cos \alpha}{b_0} \right) \right).$$

Величины  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ , входящие в (18), определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} b_1 &= 1 + \zeta^2; & b_0 &= (\zeta^2 + \rho^2 - 1)^2 + 4\zeta^2 \\ \zeta \operatorname{tg} \beta &= 1; & (\zeta^2 + \rho^2 - 1) \operatorname{tg} \alpha &= 2\zeta \end{aligned}$$

Величину начального контактного давления  $q_0$  определим как:

$$q_0 = \frac{3k}{\pi D_m} \left( \frac{mv^2}{k} \right)^{1/5} \quad k = \frac{1k \sqrt{D_m/2}}{3(1-\mu^2)}$$

Где  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $m$  – масса бревна и  $v$  – скорость его ударного взаимодействия с контактом.

Величину горизонтального давления  $q_r$  определим через механизм бокового распора:

$$\sigma_r = -\frac{\nu}{1-\nu} \sigma_z,$$

После чего давление сдвига  $q_s$  на элемент коры определим как приведенное давление:

$$q_s = \sqrt{q_z^2 + q_r^2}.$$

Данные расчетов по разработанной модели свидетельствуют о том, что использование ножей приводит к существенному (до 3 и более раз) росту контактного давления и практически вдвое увеличивает максимальные размеры контактного сближения. Это в свою очередь способствует росту размеров контактной площадки и увеличению ее площади  $\Delta s$ .

Выявленная тенденция роста  $\Delta s$  при использовании специальных ножей с (15) обуславливает снижение времени окорки  $T_o$ .

Исследования степени этого влияния и выполненные расчеты для условий окорки балансов без использования ножей и с их применением при угле заточки  $30^\circ\text{C}$  показали, что применение ножей сокращает время обработки балансов в среднем в 1,5-2,5 раза, что повышает эффективность технологических процессов и снижает общие затраты на окорку.

Разработанная модель позволяет оценивать один из основных параметров групповой окорки – время обработки с учетом конструктивных элементов барабана, параметров баланса, их свойств и температуры.

### **Объект, аппаратура, методика и условия проведения экспериментальных исследований**

При проведении экспериментов была использована специально созданная установка. Она включала в себя индентор массой  $m$ , жестко соединенный со стержнем, который, падая, наносил удар по образцу древесины. Рассматривались два варианта: образец закреплен, и свободный удар.

Материал индентора – Ст5. Масса индентора  $m$  и угол заточки  $\alpha$  варьировались в пределах от 1 до 9 кг и от 15 до 75° соответственно. После нанесения удара по образцу штангенциркулем с точностью измерений 0,02 мм измерялась глубина проникновения индентора  $h$  и ширина рубка, оставленного индентором  $b$ . Полученные величины округлялись до десятых долей миллиметра. Эксперименты были проведены для образцов осины при температуре -5 и 20°C

## Результаты исследований

**Разработка новых технических решений, обеспечивающих повышение эффективности производства технологической щепы.** Техническая задача первого технического решения состоит в повышении эффективности линии изготовления технологической щепы за счет обеспечения точной оперативной автоматизированной оценки качества окорки и управления процессом возврата бревен на дополнительную окорку, повышения производительности линии, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

Поставленная задача достигается тем, что в линии изготовления технологической щепы, включающей последовательно установленные и технологически связанные узел подачи неокоренных бревен, окорочный барабан, имеющий загрузочное и выгрузочное отверстие, оборудованное приводным шандором, узел выгрузки окоренных бревен, рубительную машину и сортировочную установку щепы, - узел выгрузки окоренных бревен оборудован приводным сбрасывателем плохо окоренных бревен в возвратный транспортер на доработку, при этом линия снабжена установленным на выходе из окорочного барабана узлом сканирования с блоками информации и программирования, который связан с приводами шандора и сбрасывателя плохо окоренных бревен.

Техническая задача второго технического решения состоит в повышении эффективности процесса производства технологической щепы из низкокачественной древесины за счет увеличения выхода качественной щепы путем повышения качества сортировки коротких лесоматериалов, в том числе и полученных и из длиномерных материалов, а также повышения качества выколки гнили из колотых древесных элементов.

Поставленная задача достигается тем, что линия производства технологической щепы из низкокачественной древесины, включающая участки накопления длиномерных древесных лесоматериалов, участков распиловки длиномерных древесных материалов на короткие, сортировочное устройство для сортировки по качеству коротких древесных лесоматериалом, в том числе полученных и из длиномерных лесоматериалов, два технологических потока переработки рассортированных коротких лесоматериалов, один из которых содержит последовательно установленные и технологически связанные между собой окорочный барабан, рубительную машину и сортировочное устройство для сортировки полученной щепы, а другой потом содержит последовательно

установленные и технологически связанные между собой древокольный станок, станок для одновременного выкалывания гнили из колотых древесных элементов и их окорки, рубительную машину и сортировочное устройство для сортировки полученной на потоке щепы, - снабжена двумя сканерами, каждый из которых содержит блок обработки информации и программно исполнительное устройство, при этом из сканеров и п его программно исполнительное устройство связаны сортировочный устройством для сортировки коротких лесоматериалов, а другой – со станком для одновременного выкалывания гнили из колотых сортиментов и их окорки, а его программно исполнительное устройство связано с приводом подачи ножа этого станка.

Техническая задача третьего технического решения – создание устройство для оперативного определения степени затупления ножей рубительных машин, которое обеспечит повышение качества получаемой технологической щепы за счет увеличения полезного выхода получаемой технологической щепы за счет увеличения полезного выхода кондиционной щепы за счет сокращения простоев рубительных машин из-за необходимости проверки ножей.

Поставленная задача достигается тем, что устройство определения степени затупления ножей рубительных машин для линии производства-технологической щепы, включающее средство измерения выбранного для оценки состояния ножей параметра, смонтировано на линии производства технологической щепы, выполнено в виде системы оперативного определения степени затупления ножей по выбранному для этого параметру – фракционному составу щепы и содержит вычислительным модуль, а также весоизмерительные устройства для поступающего на переработку древесного сырья и для различных фракций полученной технологической щепы, при этом вычислительный модуль связан со всеми весоизмерительными устройствами и с приводом рубительной машины.

Для повышения оперативности управления процессом окорки балансов в окорочном барабане также предлагается устройство, включающее последовательно установленные и технологически связанные узел подачи неокоренных лесоматериалов, окорочный барабан с приводами соответственно крашения барабана, системы подачи теплоносителя в окорочный барабан и шандораа, узел выгрузки окоренных лесоматериалов, узел приема отходов окорки, а также узел сканирования с блоками информации и программирования, отличающийся тем, что узел приемы отходов окорки снабжен устройством для их измельчения и выносным транспортером измельченных отходов с разравнивающим приспособлением обеспечивающим дозированный слой, узел сканирования установлен над выносным транспортером, при этом в качестве блока информации узла сканирования использован блок информации о цветовой гамме отходов окорки дозированного слоя, а его блок программирования связан с приводами вращения окорочного барабана, системы подачи теплоносителя в окорочный барабан, шандора и узла подачи неокоренных лесоматериалов.

Результаты экспериментальных исследований. Основными задачами, решаемыми при помощи экспериментальных исследований, являлись: получение сведений об адекватности разработанной математической модели оценки процесс окорки балансов в окорочной барабане.

В результате аналитического исследования данных эксперимента, получены графические и регрессивные зависимости влияния силы удара об индентор и угла его заточки на глубину проникновения в кору. Анализ показал, что теоретические расчеты по оценке величины ударного импульса и размеров пятна окорки различных лесоматериалов в среднем на 7% отличаются от соответствующих условиям расчетов опытных данных.

### **Общие выводы**

1. Величина давления сдвига элементарного участка коры снижается во времени в соответствии со степенным законом, за короткий промежуток времени (не более 0,5 мс) величина давления изменяется на 80%.
2. Установлен экспоненциальный характер уменьшения размеров пятна окорки по мере роста по мере величины предела прочности коры на скалывание, при этом размеры пятен непрочных пород в 2,5-3 раза превосходят соответствующие размеры для высокопрочных пород.
3. При выявлении особенностей окорки мерзлых балансов установлено, что использование с понижением температуры возрастает от 0 до -30/пацельсю/ продолжительность окорки кряжей сосны возрастает от 8 до 60 минут, а осины – от 25 до 90 мин.
4. Данные теоретических исследований свидетельствуют о том, что использование специальных ножей на поверхности окорочного барабана приводит к существенному (до 3 и более раз) росту контактного давления и практически вдвое увеличивает максимальные размеры контактного сближения, что обуславливает соответствующий рост размеров контактного пятна.
5. Математическое моделирование процесса окорки показывает, что применение ножей сокращает время обработки балансов в среднем в 1,5-2 раза, повышает эффективность технологических процессов и снижает общие затраты на окорку.
6. Теоретические расчеты по оценке величины ударного импульса и размеров пятна окорки различных лесоматериалов в среднем на 7% отличаются от соответствующих условиям расчетов опытных данных.
7. Разработанные технические решения позволяют повысить эффективность производства технологической щепы, за счет точной оперативной автоматизированной оценки качества выполнения операция управления процессом, повышения производительности линии, снижения энергоемкости процесса и потерь древесины.

8. Результаты проекта следует использовать для модернизации технологических процессов и оборудования древесно-подготовительных цехов и предприятий ЛПК.

## Список литературы

1. ГОСТ 23246-78 «Древесина измельченная. Термины и определения»
2. ГОСТ 15815-83 «Технологическая щепка. Технические условия»
3. Бачериков И.В., Локштанов Б.М., Ржанцев А.А., Симоненков М.В. Обеспечение бесперебойного истечения щепы из бункеров // **Актуальные проблемы развития лесного комплекса**: материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГУ, 2014. С. 159-161
4. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины: Учебник для вузов. М.: Лесн. Пром-сть, 1985.-264 с.
5. Бачериков И.В., Локштанов Б.М., Симоненков М.В. Хранение щепы на складах закрытого типа // **Наука и инновации в технических университетах**: материалы Седьмого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та., 2013. – С. 7-9.
6. Jenike A.W., Gravity flow of bulk solids, Utah Engrg. Exper. Statiob, University of Utah, Bul. 108, 1961.
7. Janssen H.A., Versuche uber Getreidedruck in Silozellen, Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure, Vol. 39, No. 35, (1895), 1045-1049 pp.
8. Marini Bettolo Marconi U., Petri A., Vulpiani A. Janssen's law and stress fluctuations in confined dry granular materials // Physica A 280 (2000) 279-288 pp.
9. Jurgen T. The mechanics of dry, cohesive powders // Paper at Bulk India 2003, 9 -11 Dec. 2003 Mumbai, review version
10. Marinelli J., Carson J. Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders.
11. McGlinchey D. Bulk Solid Handling Blackwell Publishing, Singapore, 2008. 303 p.
12. Ravenet J. Silo problems // Bulk solid handling Vol. 1, Number 4, Dec. 1981. 667 - 679 pp.
13. Schulze D. Flow Properties of Powders and Bulk Solids
14. Schulze D. Powders and Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow Springer, 2008. 517 p.
15. Sperl M. Experiments on Corn Pressure in Silo Cells – Translation and Comment of Janssen's Paper from 1895 arXiv:cond-mat/0511618v1