

На правах рукописи

ЧИСТОВА Наталья Геральдовна

РАЗМОЛ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДВП

05.21.03 –

Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева,  
химия древесины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск - 2000

Работа выполнена в Сибирском государственном технологическом университете,  
г. Красноярск

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Алашкевич Ю.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Пен Р.З.

кандидат технических наук,  
доцент Ворошилов В.П.

Ведущая организация: ЗАО «Лесосибирский ЛДК-1»  
г. Лесосибирск

Защита диссертации состоится «20» декабря 2000 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 063.83.01 в Сибирском государственном технологическом университете по адресу: 660049, г.Красноярск, пр. Мира, 82.

Заверенные отзывы на автореферат направлять в двух экземплярах по адресу: 660049, г.Красноярск, пр. Мира, 82, СибГТУ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан «15» декабря 2000 года

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат химических наук, доцент

Е.В. Исаева

A 2000  
12138

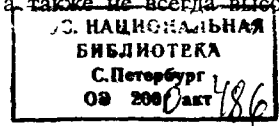
## Общая характеристика работы

### Актуальность работы

Известно, что производство древесных плит – одно из наиболее эффективных направлений использования отходов и низкокачественной древесины. Мокрый способ производства ДВП по многим технологическим процессам можно считать разновидностью производства бумаги. При производстве древесноволокнистых плит, как и при производстве бумаги и картона, важное место занимают процессы, связанные с физико – механической обработкой древесных волокон: размол древесной массы, формирование древесноволокнистого ковра, прессование, сушка и многие другие.

В производстве древесноволокнистых плит определяющим является предварительная подготовка исходного полуфабриката, иначе говоря, процесс размола полуфабриката. Главная цель размола заключается в подготовке поверхности целлюлозных волокон к образованию межволоконных сил связей, приданию волокнам способности связываться между собой в прочное полотно.

В Лесосибирском промышленном узле самым крупным и перспективным деревообрабатывающим предприятием, в состав которого входит завод по производству древесноволокнистых плит (ДВП) мокрым способом, является закрытое акционерное общество «Лесосибирский ЛДК-1», на котором проводились все натурные эксперименты данной работы. На этом предприятии специалисты понимают роль процесса размола в производстве ДВП, но количественных и качественных зависимостей влияния этого процесса на производство ДВП не имеют. В результате регулирование процесса размола, а следовательно, и получение готовой плиты осуществляется на основе практического опыта специалистов, без учета закономерностей процесса. Отсюда не оправданно высокий расход электроэнергии и значительный расход сырья, а также не всегда высокие



физико-механические показатели готового продукта. В связи с этим очевидна актуальность и важность представленной работы.

### **Цель и задачи исследований**

Целью настоящей работы является изучение влияния процесса размола древесноволокнистой массы на ее качественные показатели размола и физико-механические свойства готовой плиты, а также ее геометрические характеристики. В работе ставится задача: теоретически и экспериментально исследовать процесс размола древесноволокнистой массы в промышленных условиях и определить влияние этого процесса на производство ДВП. Для чего надлежит:

1. Изучить влияние основных конструктивных, технологических и энергосиловых параметров размольных машин на:

- качество помола древесной щепы и древесноволокнистой массы;
- физико – механические характеристики готовой плиты и на ее геометрические параметры;
- удельный расход электроэнергии, затрачиваемый на размол.

2. Определить оптимальные режимы работы действующего размольного оборудования на примере работы ЗАО «Лесосибирский ЛДК-1»: на основании экспериментальных исследований и математического описания процесса размола решить задачу обобщения основных конструктивных и технологических параметров размалывающих машин, качественных показателей размола, физико – механических и геометрических свойств древесноволокнистой плиты с учетом энергозатрат на размол с целью осмысленного и целенаправленного регулирования процесса получения ДВП и прогнозирования основных показателей при проектировании новых размольных машин с учетом заданных характеристик древесноволокнистой плиты.

## **Научная новизна**

Изучены основные явления, имеющие место в процессе размола щепы и древесноволокнистой массы, а также влияние данного процесса на основные физико-механические показатели древесноволокнистой плиты.

Получены расчетные зависимости степени помола (ДС) от конструктивных и технологических параметров дефибратора и рафинатора отношения ширины ячейки сегмента к высоте ножа, т.е. износа сегментов ( $L/h$ ), частоты вращения нижнего (питающего) шнека ( $n$ ) на дефибраторе, рабочего зазора между размалывающими дисками ( $\sigma$ ) и концентрации древесноволокнистой массы ( $c$ ) перед рафинатором.

Найдены аналитические зависимости физико-механических и геометрических свойств древесноволокнистой плиты: прочности  $P_r$ , плотности  $P_l$ ; водопоглощения  $S$  и толщины  $T_l$  от степени помола древесной массы ДС.

Определены аналитические зависимости физико-механических свойств ДВП ( $P_r$ ,  $P_l$ ,  $S$ ,  $T_l$ ) от конструктивных и технологических параметров дефибратора ( $L/h$ ,  $n$ ,  $\sigma$ ) и рафинатора ( $L/h$ ,  $n$ ,  $\sigma$ )

Получены уравнения регрессии, устанавливающие зависимость удельного расхода электроэнергии от основных конструктивных параметров размалывающих машин ( $L/h$ ,  $n$ ,  $\sigma$ ,  $c$ ).

Выявлена зависимость удельного расхода электроэнергии от степени помола, что позволяет, не снижая качества помола, варьировать энергозатратами данного процесса, стремясь к их снижению.

## **Практическая ценность**

Практическая ценность результатов работы состоит в том, что полученные научные обоснования и разработанные технологические решения позволяют:

1. Целенаправленно получать необходимые прочностные показатели ДВП, с учетом заданных технологических, конструктивных и энергосиловых параметров размольных машин.

2.Рекомендовать в производственных условиях с учетом неравномерного износа поверхностей ножей ротора и статора, изготавливать ротор из более прочного материала

3.Снизить удельный расход электроэнергии на размол древесноволокнистой массы на 15-20% за счет выбора оптимальных значений величины зазора между поверхностями ножей ротора и статора, величины отношения ширины ячейки гарнитуры к высоте ножа, частоты вращения шнека дефибратора, значений градуса помола древесной массы

4.Обеспечить выбор необходимых конструктивных параметров размольных машин при проектировании технологических линий производства ДВП.

#### **Реализация работы**

Основные результаты работы находят применение на заводе ДВП ЗАО «Лесосибирский ЛДК -1» при оптимизации процесса размола щепы и древесноволокнистой массы, а также при корректировке режима работы размольного оборудования. На основании результатов исследований в промышленных условиях оказалось возможно за счет снижения энергозатрат и улучшения качества плиты получить годовой экономический эффект.

#### **Апробация работы**

Основные положения и результаты работы рассматривались на научно-практических конференциях: «Проблемы химико-лесного комплекса» (Красноярск, 1996, 1997,1998); международной научно-практической конференции «Химико-лесной комплекс – научное и кадровое обеспечение в XXI веке. Проблемы и решения.» (Красноярск, 2000); международной научно-практической конференции «Экономика природопользования и природоохраны», (Пенза, 2000); семинарах и конференциях Сибирского государственного технологического университета (1996-1999).

## **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе одна монография, получены два положительных решения по заявкам на изобретения.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и заключения, изложена на 170 страницах, содержит 4 таблицы, 60 рисунков, список литературы из 150 наименований, три приложения.

## **Основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований.

**В первой главе**, анализируя отдельные теоретические представления о процессе размола волокнистых материалов, отмечено, что имеются различные точки зрения на этот вопрос, причем зачастую противоречивые. Противоречия объясняются, прежде всего, самым подходом к выяснению механизма размола; в результате конструирования и изготовления размольных машин основано не на научно обоснованной теории, а на накоплении в течение многих лет практических данных, которые для каждого конкретного случая трудно воспроизводимы.

**В реальных условиях** действующего предприятия, учитывая специфичные условия технологии применяемого оборудования и сырья, целесообразно выбрать доминирующие (определяющие) критерии оптимизации и определить режимные параметры с учетом максимального (или минимального) значения этого критерия. Определены цели и задачи работы

**Во второй главе** разработана общая схема оптимизации процесса размола при производстве ДВП. Сделан выбор основных направлений и методов исследований. В соответствии с теорией математической статистики проведена статистическая обработка наблюдений – рассчитаны статистические показатели входных и выходных параметров. Определены наиболее важные параметры, влияющие на исследуемый процесс. В качестве

основного метода получения математического описания процесса размола древесноволокнистой массы при производстве ДВП и решения задач оптимизации условий функционирования этого процесса был принят активный многофакторный эксперимент

**В третьей главе** представлены программа и методика экспериментальных исследований. Исходя из поставленных в работе задач приведено обоснование выбора плана эксперимента (МФЭ) и выбор основных характеристик моделей.

Программа экспериментальных исследований состояла из разделов

1 Планирование и реализация многофакторных исследований по определению ДС и Е в виде функциональных зависимостей.

для дефибратора.

$$ДС = f(L/h, \sigma, n) \quad (1)$$

$$Е = f(L/h, \sigma, n) \quad (2)$$

для рафинагора.

$$ДС = f(L/h, \sigma, c) \quad (3)$$

$$Е = f(L/h, \sigma, c) \quad (4)$$

2 Планирование и реализация однофакторных и многофакторных исследований по определению электроэнергии и физико-механических свойств -  $P_r, P_l, S, T_l$  в виде функциональных зависимостей.

для дефибратора:

$$P_r = f(ДС), \quad (5)$$

$$P_l = f(ДС), \quad (6)$$

$$S = f(ДС), \quad (7)$$

$$T_l = f(ДС), \quad (8)$$

$$Е = f(ДС), \quad (9)$$

для рафинагора:

$$P_r = f(ДС), \quad (10)$$

$$P_l = f(ДС), \quad (11)$$

$$S = f(ДС), \quad (12)$$

$$T_l = f(ДС), \quad (13)$$

$$Е = f(ДС), \quad (14)$$

для дефибратора:

$$P_r = f(L/h, \sigma, n), \quad (15)$$

$$P_l = f(L/h, \sigma, n), \quad (16)$$

$$S = f(L/h, \sigma, n), \quad (17)$$

$$T_l = f(L/h, \sigma, n), \quad (18)$$

для рафинагора:

$$P_r = f(L/h, \sigma, c), \quad (19)$$

$$P_l = f(L/h, \sigma, c), \quad (20)$$

$$S = f(L/h, \sigma, c), \quad (21)$$

$$T_l = f(L/h, \sigma, c), \quad (22)$$



В данной главе представлены также, описание и техническая характеристика промышленных установок для размола, на которых проводились испытания, методика проведения опытов на них.

Исследования, проводимые при поисковом эксперименте, показали, что степень помола массы, прошедшей обработку в дисковых дефибраторах и рафинаторах, а так же характер этой массы зависят прежде всего от размалывающей гарнитуры и величины зазора между дисками, и от скорости вращения нижнего шнека на дефибраторе и концентрации древесноволокнистой массы перед рафинатором.

Математические модели для всех зависимостей однофакторных экспериментов представлены в виде

$$y = B_{11} \left( \frac{X - \bar{X}}{h} \right)^2 + B_1' \left( \frac{X - \bar{X}}{h} \right) + B_0', \quad (23)$$

где  $h$  – шаг варьирования фактора  $X$ ;

$B_0, B_1, B_{11}$ -коэффициенты.

Для нашего эксперимента с тремя варьируемыми факторами модель второго порядка примет вид

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{33} X_3^2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{13} X_1 X_3 + B_{23} X_2 X_3, \quad (24)$$

где  $B_0$  – свободный член;

$B_1, B_2, B_3$  – линейные коэффициенты;

$B_{11}, B_{22}, B_{33}$  – квадратичные коэффициенты;

$B_{12}, B_{13}, B_{23}$  – коэффициенты при парных взаимодействиях.

В четвертой главе изложены результаты исследований влияния основных конструктивных и технологических параметров дефибратора на степень помола древесной массы и физико-механические показатели древесноволокнистой плиты.

Зависимость градуса помола (ДС) от параметров дефибратора ( $L/h$ ,  $\sigma$ ,  $n$ ) представлена регрессионной моделью с натуральными обозначениями факторов

$$\begin{aligned}
 \text{ДС} = & 5.2083 + 0.27846 \cdot (L/h) + 16.6371 \cdot \sigma + 0.69343 \cdot n - \\
 & 0.00469 \cdot (L/h)^2 - 50 \cdot \sigma^2 - 0.008661 \cdot n^2 - 0,62495 \cdot ((L/h) \cdot \sigma) - \\
 & 0.0221 \cdot ((L/h) \cdot n) - 0.8824 \cdot (\sigma \cdot n).
 \end{aligned}
 \quad (25)$$

Наглядное представление о влиянии факторов и их взаимодействии на выходную величину дают графики, построенные по полученной модели.

На рисунке 1 представлен график зависимости степени помола щепы (ДС) от величины износа рабочей поверхности размалывающей гарнитуры ( $L/h$ ) и скорости вращения нижнего шнека ( $n$ ) при фиксированных значениях зазора между сегментами на максимальном уровне ( $\sigma$ ). Из рисунка видно, что степень помола массы возрастает с увеличением оборотов нижнего шнека до значения  $n=14,5$  об/мин, хотя при этих значениях  $n$  визуальное волокно имеет неразмолотую структуру, с дальнейшим увеличением скорости вращения шнека градус помола начинает снижаться. С увеличением износа рабочей поверхности сегментов, при тех же характеристиках, степень помола снижается по зависимости, близкой к линейной. Так, при значении износа  $L/h=1,17$ , при оборотах  $n=12,5$  об/мин величина степени помола составит  $\text{ДС}=11,5$ ; а при тех же оборотах, но уже при  $L/h=1,85$ ,  $\text{ДС}=10,7$ .

Данные исследования показали, что на первой ступени размолта при износе дисков до 10 % при соотношении  $x_1=L/h(-1)=1,17$  наибольшая степень помола (ДС) была достигнута при зазоре  $x_2=\sigma(-1)=0,05$  мм и числе оборотов нижнего шнека  $x_3=n(+1)=15,4$  об/мин, а наилучший фракционный состав оказался при тех же варьируемых факторах  $x_1(-1)=1,17$  мм;  $x_2(0)=0,1$ ,  $x_3(0)=13,7$  об/мин. При анализе тех же самых факторов с износом сегментов 50 % и 90 % наблюдалась та же закономерность.

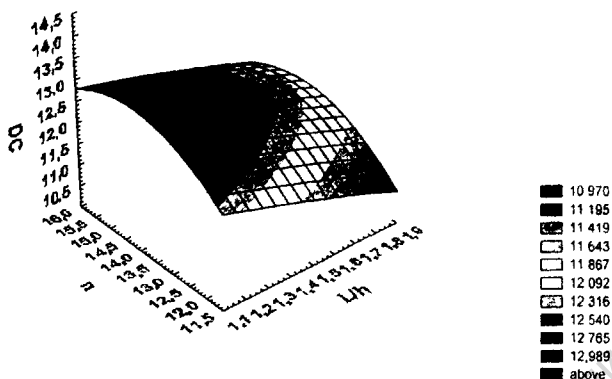


Рисунок 1-Зависимость прочности плиты,  $P_r$ , от параметров дефибратора при фиксировании на максимальном уровне  $\sigma$

Зависимости физико-механических показателей ( $P_r$ ,  $P_l$ ,  $S$ ,  $T_l$ ) плиты от качества помола массы ( $D_C$ ) представлены следующими выражениями:

*зависимость прочности*

$$P_r = - 146.744 + 25.346 \cdot (D_C) - 0.859 \cdot (D_C)^2; \quad (26)$$

*зависимость водопоглощения*

$$S = 578.256 - 85.96 \cdot (D_C) + 3.4 \cdot (D_C)^2; \quad (27)$$

*зависимость плотности*

$$P_l = - 15558 + 2359 \cdot (D_C) - 83.4 \cdot (D_C)^2; \quad (28)$$

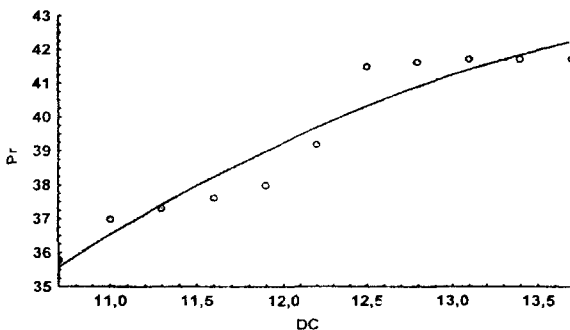
*зависимость толщины*

$$T_l = - 69.5219 + 12.723 \cdot (D_C) - 0.556 \cdot (D_C)^2. \quad (29)$$

Для наглядного представления о влиянии факторов и их взаимодействий на выходную величину по уравнениям построены графики. Анализируя полученные графики, можно видеть влияние степени помола массы на качественные и геометрические показатели плиты. Так, из графиков видно, что прочность и плотность плиты возрастают с увеличением степени помола. Водопоглощение плиты уменьшается с увеличением степени помола, т.е. качественные показатели плиты в целом улучшаются. С

увеличением степени помола массы толщина плиты имеет тенденцию к снижению по зависимости близкой к линейной

На рисунке 2, для примера, представлен график зависимости прочности плиты от степени помола древесной пропасты.



Из графика видно, что при значении степени помола 12 ДС прочность плиты равна 39,3 Па, а при значении степени помола 13 ДС прочность плиты возрастает до 41,2 Па

Рисунок 2-Зависимость прочности плиты от степени помола массы после дефибратора (Pr, Pl, S, Tl) плиты от конструктивных параметров дефибратора (L/h,  $\sigma$ , n) при реализации В-плана второго порядка позволили получить следующие уравнения регрессии:

*зависимость прочности*

$$Pr = 1,511053588 + 0,273168236 \cdot L/h + 48,385898 \cdot \sigma + 0,86078988 \cdot n - 0,043750375 \cdot L/h^2 - 19,9988 \cdot \sigma^2 - 0,0173 \cdot n^2 - 3,50011 \cdot L/h \cdot \sigma + 0,018382647 \cdot L/h \cdot n + 0,14706 \cdot \sigma \cdot n; \quad (30)$$

*зависимость водопоглощения*

$$S = 41,54364893 - 0,166170412 \cdot L/h - 5,32263235 \cdot \sigma - 0,758084428 \cdot n + 0,0109375 \cdot L/h^2 + 130 \cdot \sigma^2 + 0,025951557 \cdot n^2 + 1,750005 \cdot L/h \cdot \sigma - 0,000005882 \cdot L/h \cdot n - 1,764776471 \cdot \sigma \cdot n; \quad (31)$$

*зависимость плотности*

$$Pl = - 319,1628 - 1,339889709 \cdot L/h + 3599,168 \cdot \sigma + 129,93338 \cdot n - 1,01171875 \cdot L/h^2 - 15675 \cdot \sigma^2 - 4,04412 \cdot n^2 - 66,875 \cdot L/h \cdot \sigma + 0,68015 \cdot L/h \cdot n - 69,11812 \cdot \sigma \cdot n; \quad (32)$$

*зависимость толщины*

$$Tl = 2,88181 - 0,041623 \cdot L/h - 3,17632 \cdot \sigma + 0,073196 \cdot n + 0,00215 \cdot L/h^2 + 13,75 \cdot \sigma^2 - 0,00541 \cdot n^2 + 0,09363 \cdot L/h \cdot \sigma + 0,002754 \cdot L/h \cdot n + 0,085 \cdot \sigma \cdot n. \quad (33)$$

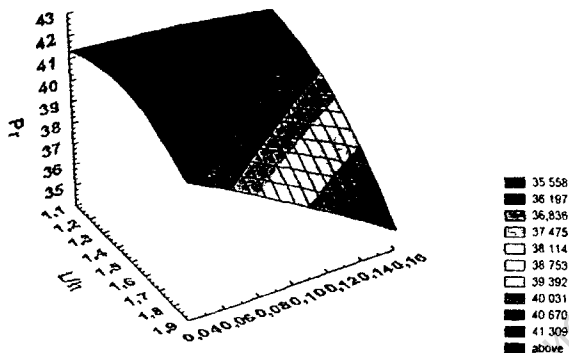


Рисунок 3-Зависимость прочности плиты,  $P_r$ , от параметров машины при фиксировании на максимальном уровне  $\sigma$

На рисунке 3 показан график, построенный по полученным моделям с натуральными обозначениями факторов, при фиксировании значения износа гарнитуры ( $\sigma$ ) на максимальном уровне. На графике видно, что при увеличении срока эксплуатации сегментов показатели прочности плавно снижаются, например, при  $L/h=1,17$ ,  $P_r=41,3$  Па, при установленном рабочем зазоре  $\sigma=0,05$ мм, а при  $L/h=1,85$ ,  $P_r=39,2$  Па при том же самом зазоре. При увеличении рабочего зазора между дисками показатели прочности снижаются более интенсивно, например при  $\sigma=0,05$ мм значение прочности составит 40,5 Па, а при  $\sigma=0,15$ ,  $P_r=35$  Па при одинаковом износе сегментов на уровне 10%.

В пятой главе представлены исследования влияния основных конструктивных и технологических параметров рафинатора на степень помола древесноволокнистой массы и физико-механические показатели плиты.

Зависимость степени помола от конструктивных и технологических параметров рафинатора представлена уравнением

$$\begin{aligned}
 \text{ДС} = & -99.9491 - 0.39619 \cdot (L/h) + 80.44948 \cdot \sigma + 80.95748 \cdot c + \\
 & 0.014057 \cdot (L/h)^2 - 110 \sigma^2 - 13.2996 \cdot c^2 + 0.625 \cdot ((L/h) \cdot \sigma) + \quad (34) \\
 & 0.00000315 \cdot ((L/h) \cdot c) - 27 \cdot (\sigma \cdot c).
 \end{aligned}$$

На рисунке 4 представлен график данного уравнения при фиксировании значений износа рабочих поверхностей на максимальном уровне.

Из исследования графиков видно, что степень помола на второй ступени размола в зависимости от изменения степени износа дисков и зазора между ротором и статором меняется в той же закономерности, что и на первой ступени размола, при фиксировании концентрации на максимальном или минимальном уровнях. С изменением концентрации графики меняют свою форму. При возрастании значений концентрации до 3% значения степени помола возрастают до 21,1 ДС, а затем начинают снижаться.

На второй ступени размола наибольшая степень помола (ДС) была достигнута при износе  $x_1=L/h,(-1)=10/8$ ;  $x_2=\sigma,(-1)=0.05$  мм;  $x_3=c,(0)=3$  %. А фракционный состав оказался наилучшим при тех же варьируемых параметрах:  $x_1=L/h,(-1)=10/8$ ;  $x_2=\sigma,(0)=0$  1 мм;  $x_3=c,(0)=3$  %.

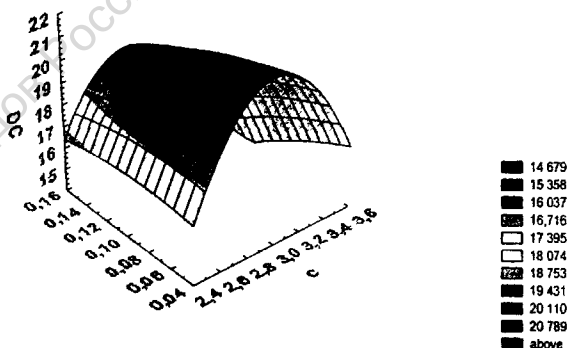


Рисунок 4 - Зависимость степени помола массы, ДС, от параметров рафинатора при фиксировании износа сегментов (L/h) на максимальном уровне

При износе 50 % и 90 % на второй ступени размола прослеживалась та же закономерность.

Зависимости физико-механических показателей плиты ( $P_r$ ,  $P_l$ ,  $S$ ,  $T_l$ ) от качества помола массы (ДС) после прохождения ее через рафинатор описываются математическими моделями в виде:

*зависимость прочности*

$$P_r = - 1375.4 + 150.6 \cdot (ДС) - 4 \cdot (ДС)^2; \quad (35)$$

*зависимость водопоглощения*

$$S = - 169.5 + 25.8 \cdot (ДС) - 0.8 \cdot (ДС)^2; \quad (36)$$

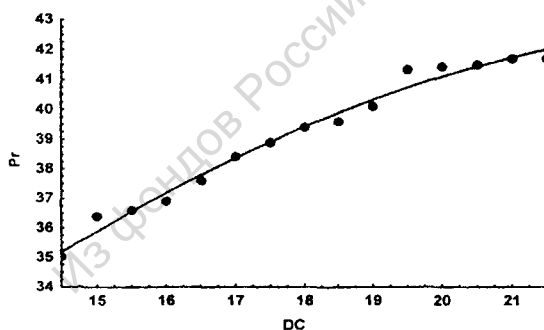
*зависимость плотности*

$$P_l = - 812.8 - 18.4 \cdot (ДС) + 6 \cdot (ДС)^2; \quad (37)$$

*зависимость толщины*

$$T_l = 472.1 - 51.3 \cdot (ДС) + 1.4 \cdot (ДС)^2. \quad (38)$$

Графические зависимости, полученные по вышеприведенным моделям с натуральными обозначениями факторов, наглядно представляют влияние степени помола древесноволокнистой массы на прочностные показатели плиты. Так, с увеличением степени помола прочность и плотность плиты



возрастают, водопоглощение плиты уменьшается, т.е. качественные показатели плить в целом улучшаются. Толщина плиты, так же как и на дефибраторе, имеет тенденцию к снижению, но более плавно.

Рисунок 5 - Зависимость прочности плиты от степени помола массы

Из графика (рис.5) видно, что с ростом величины градуса помола наблюдается рост показателей прочности.

Зависимости физико-механических свойств плиты ( $Pr$ ,  $Pl$ ,  $S$ ,  $Tl$ ) от конструктивных и технологических параметров рафинатора ( $L/h$ ,  $\sigma$ ,  $c$ ) представлены моделями:

*зависимость прочности*

$$Pr = - 72,675793 - 3,385319 \cdot L/h + 67,5597 \cdot \sigma + 87,76749 \cdot c - 0,000391 \cdot L/h^2 - 42,5 \cdot \sigma^2 - 14,225 \cdot c^2 + 1,187505 \cdot L/h \cdot \sigma - 0,056248 \cdot L/h \cdot c - 22,5 \cdot \sigma \cdot c; \quad (5.8)$$

*зависимость водопоглощения*

$$S = 80,570994 + 0,1004796 \cdot L/h - 6,237924 \cdot \sigma - 32,093733 \cdot c - 0,0041 \cdot L/h^2 + 53,75 \cdot \sigma^2 + 5,3375 \cdot c^2 + 0,09371 \cdot L/h \cdot \sigma + 0,6750485 \cdot L/h \cdot c - 22,5 \cdot \sigma \cdot c; \quad (5.9)$$

*зависимость плотности*

$$Pl = - 3246,75625 - 2,90625 \cdot L/h + 452 \cdot \sigma + 2819,75 \cdot c - 0,1328125 \cdot L/h^2 + 2150 \cdot \sigma^2 - 468,5 \cdot c^2 + 10 \cdot L/h \cdot \sigma - 0,625 \cdot L/h \cdot c - 500 \cdot \sigma \cdot c; \quad (5.10)$$

*зависимость толщины*

$$Tl = 13,704789 + 0,0388285 \cdot L/h - 19,9137 \cdot \sigma - 7,263964 \cdot c + 0,002969 \cdot L/h^2 + 19,0024 \cdot \sigma^2 + 1,16994 \cdot c^2 - 0,17503 \cdot L/h \cdot \sigma - 0,0075015 \cdot L/h \cdot c + 6,40104 \cdot \sigma \cdot c. \quad (5.11)$$

Из графика, представленного на рисунке 6 видно, как изменяются значения прочности при увеличении срока службы гарнитуры (прочность убывает по линейной зависимости). Увеличение значений концентрации древесноволокнистой массы перед рафинатором влечет за собой рост показателя прочности плиты до определенных значений, а затем наблюдается его снижение.

Все полученные математические модели процесса размола древесной массы при производстве ДВП являются адекватными, и для всех графиков полученных зависимостей выполняется основное требование: экспериментальные точки в совокупности лежат достаточно близко к кривой, являющейся графиком искомой зависимости. Поэтому данные уравнения, на наш взгляд, позволяют решать следующие задачи:

1. Возможность прогнозирования физико-механических свойств древесноволокнистых плит по известным значениям степени



размола древесноволокнистой массы, а также по основным конструктивным и технологическим параметрам размалывающих машин.

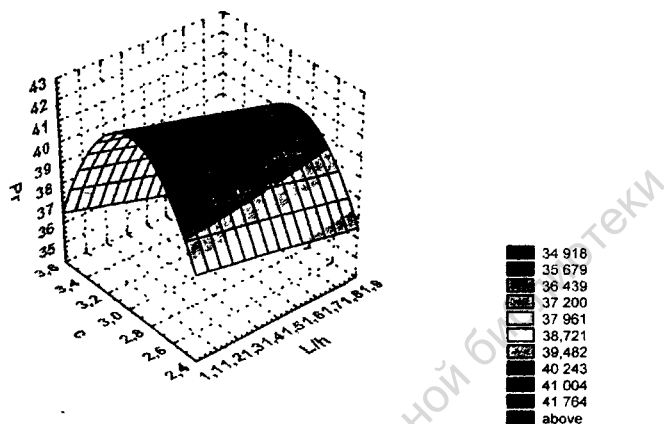


Рисунок 6 – Зависимость прочности плиты от конструктивных параметров рафинатора при фиксировании  $\sigma$  на максимальном уровне

2. При определенных значениях конструктивных и технологических параметров можно обеспечить оптимальную степень помола массы и соответственно улучшить прочностные показатели плиты, не увеличивая при этом энергозатраты на размол и даже снижая их.

3. В определенных технологических ситуациях осознанно не повышать градус помола, получать определенные качественные показатели готовой плиты при увеличении градуса помола до определенных пределов, варьируя технологическими и конструктивными параметрами установок, в результате чего уменьшается износ гарнитуры размольного оборудования, уменьшается расход электроэнергии, следовательно, снижается себестоимость продукции

В шестой главе представлена практическая реализация результатов работы.

В производстве древесноволокнистых плит процесс размола древесноволокнистой массы является одним из наиболее энергоемких этапов производства ДВП – потребляет 65 % всех затрат электроэнергии производства.

Зависимости удельного расхода электроэнергии (Е) от конструктивных параметров размольных установок (L/h, n, c, σ) и степени помола древесноволокнистой массы (ДС) описаны следующими уравнениями регрессии

*Исследование влияния параметров дефибратора на удельный расход электроэнергии*

$$E_d = 179,52 + 2,5953 \cdot (L/h) - 39,398 \cdot \sigma + 2,45868 \cdot n + 0,066375 \cdot (L/h)^2 - 25 \cdot \sigma^2 + 0,02164 \cdot n^2 - 5,625 \cdot ((L/h) \cdot \sigma) - 0,09192 \cdot ((L/h) \cdot n) + 1,471 \cdot (\sigma \cdot n). \quad (39)$$

*Исследование зависимости удельного расхода электроэнергии от степени помола массы на дефибраторе*

$$E_d = 4281,86 - 672,8 \cdot (ДС) + 27,7 \cdot (ДС)^2. \quad (40)$$

*Исследование влияния параметров рафинатора на удельный расход электроэнергии*

$$E_p = 621,155 - 13,268 \cdot (L/h) - 167,05 \cdot \sigma - 312,455 \cdot c + 2,48 \cdot (L/h)^2 + 3876 \cdot \sigma^2 + 79,76 \cdot c^2 - 15,625 \cdot ((L/h) \cdot \sigma) - 0,9375 \cdot ((L/h) \cdot c) - 347,8 \cdot (\sigma \cdot c). \quad (41)$$

*Исследование зависимости удельного расхода электроэнергии от степени помола массы на рафинаторе*

$$E_p = 155680 + 16745 \cdot (ДС) + 470 \cdot (ДС)^2. \quad (42)$$

По полученным моделям построены графики зависимости удельного расхода электроэнергии от износа сегментов, зазора между ротором и статором, оборотов нижнего шнека дефибратора, концентрации массы перед рафинатором и степени помола при фиксировании одного из них на максимальных уровнях. Графики представлены на рисунках 7-9.

Таким образом, с улучшением отдельных параметров работы размалывающих установок и достижением оптимальных условий их работы

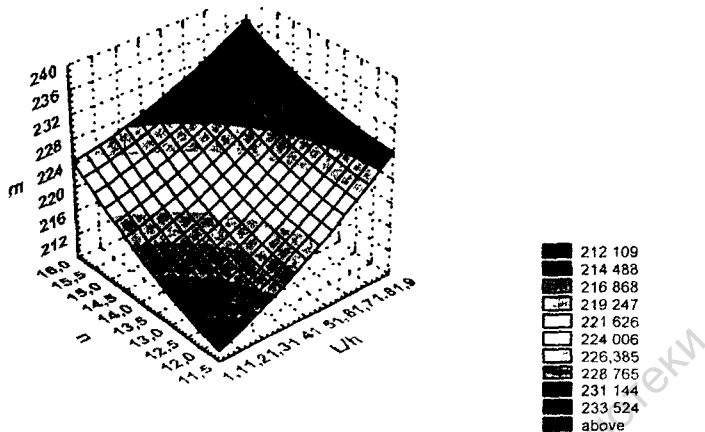


Рисунок 7 - Зависимость удельного расхода электроэнергии от конструктивных параметров дефибратора при фиксировании  $\sigma$  на максимальном уровне

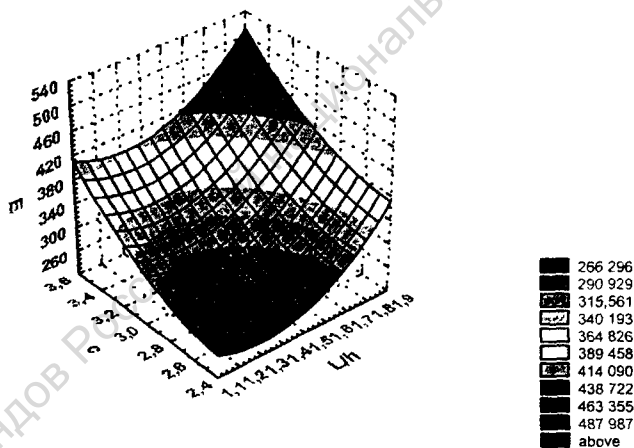
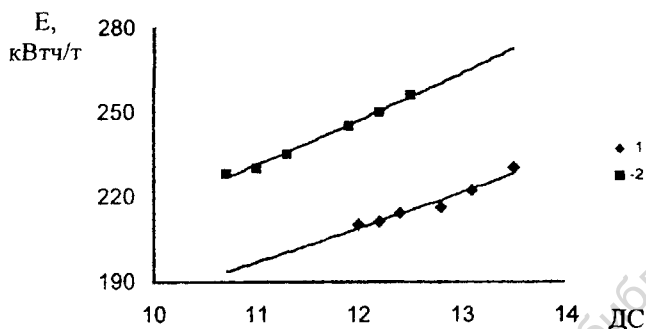


Рисунок 8 - Зависимость удельного расхода электроэнергии от конструктивных параметров рафинатора при фиксировании  $\sigma$  на максимальном уровне

удельный расход электроэнергии имеет тенденцию к существенному снижению.

На основании совместно решенных задач в разделах 4, 5, и 6.1 были получены математические модели, описывающие следующие зависимости .  
 $ДС, E, Pr, Pl, S, Tl = f(L/h, \sigma, n, c)$ ;  $E, Pr, Pl, S, Tl = f(ДС)$ , которые

обеспечивают возможность прогнозирования технологических и конструктивных показателей размольных машин при их проектировании



1-при оптимальном режиме работы; 2-при базовом режиме работы  
Рисунок 9 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от величины градуса помола на дефибраторе

Это позволило составить сводную таблицу входных и выходных параметров, а также построить графики, наглядно представляющие оптимальные параметры работы дефибратора и рафинатора. Анализируя значения параметров представленных в таблице и графиках, не производя сложных математических расчетов, можно варьировать (улучшать или ухудшать) физико-механическими и геометрическими показателями готовой древесноволокнистой плиты, снижать или увеличивать градус помола размолотой древесноволокнистой массы и удельный расход электроэнергии, зная наперед, какие конструктивные и технологические параметры на дефибраторе и рафинаторе при этом необходимо установить.

В работе решена задача оптимизации технологических, конструктивных и энергосиловых параметров, проведена оценка экономической эффективности за счет снижения энергозатрат в процессе размола древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП и увеличения качественных показателей плиты.

В качестве критерия оптимизации выбран расход электроэнергии, в значительной степени определяющий себестоимость готовой продукции.

Решение оптимизационной задачи позволило определить оптимальные значения входных факторов, которые для данных условий производства составили:

для дефибратора

$L/h = 1,17$ ;  $\sigma = 0,15$  мм;  $n = 12$  об/мин;

$Pr = 39,2$  Па;  $P_l = 805$  кг/см<sup>3</sup>,  $S = 35,6$  %;  $T_1 = 3$  мм;

для рафинатора

$L/h = 1,17$ ;  $\sigma = 0,15$  мм;  $c = 2,5$ %;

$Pr = 39,4$  Па;  $P_l = 810$  кг/см<sup>3</sup>;  $S = 35,5$  %;  $T_1 = 2,32$  мм.

Это обеспечит минимальный расход электроэнергии, который составит

для дефибратора:  $E_d = 210$  кВтч/т;

для рафинатора:  $E_p = 240$  кВтч/т.

Эксплуатация размольных машин с оптимальными условиями работы позволила получить весомый годовой экономический эффект, подтвержденный актами предприятия.

### **Основные выводы**

1 Установлено, что основными факторами, влияющими на эффективность данного процесса в размольной камере дефибратора, являются: зазор между дисками, степень износа сегментов и обороты нижнего шнека; на второй ступени размола такими факторами являются: степень износа рабочей поверхности дисков, рабочий зазор между ними и концентрация древесноволокнистой массы перед рафинатором.

2 Определено, что как на дефибраторе, так и на рафинаторе после определенного промежутка времени работы размалывающих сегментов ротор истирается интенсивнее статора, поэтому предпочтительно ротор изготавливать из более прочного материала, чем статор.

3. Получены уравнения регрессии, устанавливающие зависимости степени помола и удельного расхода электроэнергии от основных конструктивных параметров размалывающих машин

- износа дисков, рабочего зазора между размалывающими сегментами и скорости вращения нижнего шнека для дефибратора;

- износа дисков, рабочего зазора между размалывающими сегментами и концентрации древесноволокнистой массы перед рафинатором.

4. Математически установлена зависимость физико-механических свойств готовой плиты от степени помола, которая позволяет влиять на основные прочностные показатели плиты независимо от типоразмера дисковых мельниц. Получены математические модели, которые устанавливают зависимости прочности, плотности, водопоглощения и толщины готовых древесноволокнистых плит от основных конструктивных параметров дисковых мельниц.

5. Предложено математическое описание влияния степени помола древесноволокнистой массы на удельный расход электроэнергии, что позволяет, варьируя данным показателем, знать расход электроэнергии и влиять на него.

6. Предложено решение совместной задачи обобщения конструктивных и технологических параметров размалывающих машин, качественных показателей размола, физико-механических и геометрических параметров готовой древесноволокнистой плиты с учётом энергозатрат с целью осмысленного и целенаправленного регулирования процесса получения ДВП, а также прогнозирования определённых показателей готового изделия при проектировании конструктивных и энергосиловых параметров новых размалывающих машин.

7. Получены режимные параметры размалывающих машин с учетом критерия оптимизации (минимизация удельного расхода электроэнергии)

**Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах**

- 1 Чистова Н.Г. Анализ способов размола волокнистых материалов // Проблемы химико-лесного комплекса: Межвуз.сб науч тр Красноярск, 1996. – С 7.
2. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Зависимость степени помола массы от продолжительности работы размольных дисков // Проблемы химико-лесного комплекса: Межвуз сб.науч.тр – Красноярск, 1998 – С 93.
3. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д., Былков С.Б. Влияние отдельных конструктивных параметров гарнитуры на качество помола древесной массы – Красноярск: СибГТУ, 1999. – 11 с. – Деп в ВИНТИ 12.01.99, № 4-В99.
- 4 Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Исследование отдельных основных факторов процесса размола древесной массы в промышленных условиях. – Красноярск: СибГТУ, 1999. – 23 с. – Деп в ВИНТИ 12.01.99, № 3-В99
5. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Влияние конструктивных параметров дисковой гарнитуры на основные технологические и энергосиловые параметры установки // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства Межвуз сб.науч тр. – СПб, 1999.- С. 50-55.
6. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Изменение основных технологических показателей дисковой мельницы от ее конструктивных параметров – Москва, 1999. – 24 с. – Деп. в ВИНТИ 08.07.99, № 2216-В99.
7. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Изменение градус –помола ( $D_C$ ) в зависимости от зазора между дисками ( $\sigma$ ) и геометрических размеров гарнитуры  $\alpha/h$  // Вестник СибГТУ. - 1999. -№2. - С.123 – 131.
- 8 Алашкевич Ю.Д., Чистова Н.Г. Былков С.Б. Исследование оптимальных условий размола древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП // Вестник СибГТУ - 1999. -№2. –С 132 140

9 Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д., Двойцова И.Н. Математическая модель процесса первой ступени размола древесной массы. – Красноярск СибГТУ, 2000. – 31 с – Деп.в ВИНТИ 29 3 00, № 829-В00.

10.Чистова Н.Г., Двойцова И.Н., Алашкевич Ю.Д. Математическая модель процесса второй ступени размола древесноволокнистой массы – Красноярск: СибГТУ, 2000 – 30с. – Деп.в ВИНТИ 29 03 00, № 830-В00

11. Чистова Н.Г., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д. Зависимость удельного расхода электроэнергии от конструктивных параметров ножевых размалывающих машин // Химико-лесной комплекс – научное и кадровое обеспечение в XXI веке. Проблемы и решения: Сб.докл.междунар. практич. конф. – Красноярск, 2000. –С. 114-117.

12. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д., Петрушева Н.А. Моделирование процесса второй ступени размола древесноволокнистой массы // Экономика природопользования и природоохраны – 2000: Сб.материалов III Междунар. научно-практич. конф. – Пенза, 2000. – С. 125-127.

13. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Моделирование первой ступени размола древесной массы производства ДВП // Экономика природопользования и природоохраны – 2000: Сб.материалов III Междунар. научно-практич. конф. – Пенза, 2000. – С. 127-129.

14. Решение проблем энергозатрат при размоле древесноволокнистых полуфабрикатов в промышленных условиях Н.Г. Чистова, Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич, С.Б. Былков, З.З. Зарипов // Вестник СибГТУ. – 2000. - №2 – С.117-120.

15. Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д. Исследование процесса размола древесной массы на промышленных установках при производстве ДВП. Монография – Красноярск: СибГТУ, 2000. –114с.-Деп. в ВИНТИ, 10.10.2000, № 2405 – В00.



Подписано в печать 15.11.2000 Сдано в производство 15.11.2000.

Формат 60×84 1/16 Усл. печ. л. 1,5. Уч. Изд. Л. 1,5 Тираж 100 экз. Лицензия ЛР № 020346

20.01.1997 г. *САКАЗ ~ 1360*

---

Редакционно-издательский отдел СибГТУ  
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82. Тип. СибГТУ

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

-12138

A 2000

12138

Из фондов Российской национальной библиотеки