

УДК 676.1.054.1

**Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич**

Сибирский государственный технологический университет

Чистова Наталья Геральдовна родилась в 1962 г., окончила в 1984 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесоинженерного дела Сибирского государственного технологического университета. Имеет 130 печатных работ в области комплексного использования древесного сырья, переработки древесных отходов в производстве древесноволокнистых плит.  
E-mail: chistova@lfsibgtu.ru



Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет 370 научных работ в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева, химии древесины.  
E-mail: mарт@sibstu.kts.ru



## **ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Дана оценка влияния конструктивных и технологических параметров размалывающих машин на свойства древесной массы в производстве древесноволокнистых плит. Установлено, что на размалывающих машинах, после определенного времени работы размалывающих сегментов, ротор истирается интенсивнее статора.

*Ключевые слова:* градус помола, концентрация древесноволокнистой масса, рафинатор, дефибратор, фракционный состав, износ гарнитуры, щепа, древесное волокно.

Россия имеет большое количество низкосортной древесины, которая служит сырьем для древесноволокнистых плит (ДВП). Одним из определяющих этапов данного производства является подготовка (размол) древесноволокнистых полуфабрикатов. Процесс размола древесины достаточно сложен, его природа изучена еще далеко не полностью. В обозримом будущем не придется ожидать появления исчерпывающих знаний о множестве явлений, происходящих с древесным волокном в размольной камере. Причем все эти явления в свою очередь зависят от совокупности конструктивных и технологических факторов размола, многие из которых взаимосвязаны.

Цель данной работы – изучить влияние геометрических параметров ячеек ротора и статора ножевых размалывающих машин на качество помола древесноволокнистой массы при межножевом зазоре  $z = 0,1$  мм в период работы между сменой гарнитуры: дефибратор (первая ступень) – 9 нед.; рафинатор (вторая ступень) – 23 нед. Результаты исследований представлены в табл. 1. Графические зависимости изменения геометрических размеров ножевой гарнитуры на дефибраторе и рафинаторе от срока ее эксплуатации приведены на рис. 1.

Таблица 1

| Продолжительность работы гарнитуры, нед. | Ширина ячейки $L$ , мм | Высота ячейки $h$ , мм | $L/h$               | Степень помола массы (ДС), °ШР |
|--|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Дефибратор                               |                        |                        |                     |                                |
| 1  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{12,0}{12,0}$    | $\frac{1,08}{1,08}$ | 12,7                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 2  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{11,8}{11,8}$    | $\frac{1,10}{1,10}$ | 12,8                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 3  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{11,5}{11,5}$    | $\frac{1,13}{1,13}$ | 13,1                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 4  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{11,0}{11,3}$    | $\frac{1,18}{1,15}$ | 13,4                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 5  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{10,0}{11,0}$    | $\frac{1,30}{1,18}$ | 12,9                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 6  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{9,0}{10,2}$     | $\frac{1,40}{1,27}$ | 12,5                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 7  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{8,0}{9,3}$      | $\frac{1,63}{1,39}$ | 12,3                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 8  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{7,0}{8,4}$      | $\frac{1,85}{1,50}$ | 12,0                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 9  | $\frac{13,0}{13,0}$    | $\frac{6,0}{7,5}$      | $\frac{2,16}{1,70}$ | 11,3                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| Рафинатор                                |                        |                        |                     |                                |
| 1  | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{1,00}{1,00}$ | 18,0                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 3  | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{9,8}{9,8}$      | $\frac{1,02}{1,02}$ | 18,2                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 5  | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{9,5}{9,5}$      | $\frac{1,05}{1,05}$ | 18,8                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 7  | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{8,0}{8,0}$      | $\frac{1,25}{1,25}$ | 19,0                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 12                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{7,0}{7,2}$      | $\frac{1,40}{1,38}$ | 19,3                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 17                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{6,0}{7,0}$      | $\frac{1,60}{1,42}$ | 19,6                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 19                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{5,0}{6,8}$      | $\frac{2,00}{1,47}$ | 19,8                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 21                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{4,5}{6,1}$      | $\frac{2,20}{1,66}$ | 19,5                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 23                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{4,2}{5,0}$      | $\frac{2,30}{2,00}$ | 19,0                           |
|  |                        |                        |                     |                                |
| 25                                       | $\frac{10,0}{10,0}$    | $\frac{4,0}{4,5}$      | $\frac{2,50}{2,20}$ | 18,0                           |
|  |                        |                        |                     |                                |

Примечание. В числителе приведены данные для ротора, в знаменателе – для статора оборудования.

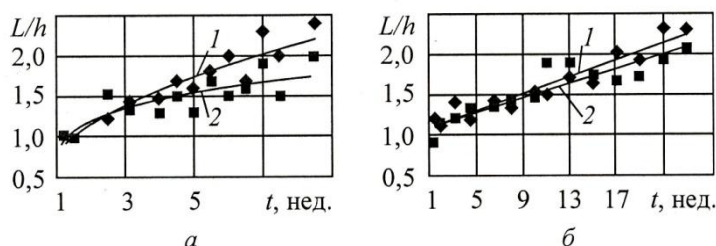


Рис. 1. Изменение геометрических параметров гарнитуры дефибратора RT-50 (а) и рафинатора RR-50 (б) от срока эксплуатации: 1 – износ на роторе, 2 – на статоре

В предыдущих исследованиях при размоле целлюлозы [1] большой гидродинамический эффект в рабочих органах машины наблюдался при отношении ширины ячейки ( $L$ ) к ее высоте ( $h$ ), равном 2. При всех прочих равных условиях, при  $L/h = 2$ , отмечен наибольший прирост градуса помола массы и меньший расход мощности.

В промышленных условиях, на заводе ДВП ЗАО «Лесосибирский ЛДК-1», исследовалась эффективность процесса размала волокнистой суспензии (II ступень, концентрация 4 %) и технологической щепы (I ступень) при изменяющихся значениях  $L/h$  и продолжительности эксплуатации с момента установки до полного износа. Перед экспериментом на сегментах дефибратора  $L = 13$  мм,  $h = 12$  мм, а на сегментах рафинатора  $L = 10$  мм,  $h = 10$  мм.

Как показали результаты исследования, в процессе эксплуатации ротор истирается интенсивнее статора. Причем первые две-три недели износ незначителен ( $L/h = 1,08 \dots 1,18$ ) и одинаков как на подвижном, так и на неподвижном дисках. В дальнейшем отмечен более интенсивный износ на роторе ( $1,20 \dots 2,16$  против  $1,20 \dots 1,80$  на статоре). Это хорошо видно из графиков (рис. 1).

Менее интенсивный износ статора, на наш взгляд, объясняется тем, что волокнистый слой в процессе размала образуется преимущественно на ножах статора, способствуя защите его рабочей поверхности. Недостаточная чистота каналов гарнитуры ротора вызывает неравномерное нависание волокон по длине ножа, что приводит к повышению его местного износа. Очевидно, увеличение этого износа от центра дисков к периферии зависит от геометрии гарнитуры, и основной процесс размала осуществляется на периферийной части диска.

Наибольший прирост градуса помола (как для дефибратора, так и для рафинатора) наблюдался при  $L/h = 1,17$ , что соответствует примерно 10...15 % износа гарнитуры.

Степень помола древесноволокнистой массы, прошедшей обработку в дисковых дефибраторах и рафинаторах, а также качество этой массы зависят не только от степени износа размалывающей гарнитуры, но и от зазора между дисками, числа оборотов питающего шнека, концентрации массы.

Таблица 2

## Интервалы и уровни варьирования управляемых факторов эксперимента

| Фактор                                    | Обозначение фактора |                 | Интервал варьирования | Уровни варьирования факторов |              |              |
|---|---------------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|--------------|--------------|
|   | натуральное         | нормализованное |                       | нижний (-1)                  | основной (0) | верхний (+1) |
| Износ сегментов, мм                       | $L/h$               | $X_1$           | 4                     | 2                            | 6            | 10           |
| Зазор между дисками, мм                   | $z$                 | $X_2$           | 0,05                  | 0,05                         | 0,1          | 0,15         |
| Число оборотов нижнего шнека в 1 мин      | $n$                 | $X_3$           | 1,7                   | 12                           | 13,7         | 15,4         |
| Концентрация древесноволокнистой массы, % | $c$                 | $X_3$           | 0,5                   | 2,5                          | 3            | 3,5          |

Поэтому в соответствии с задачами исследования и на основании практики и изучения научной литературы нами приняты следующие зависимости для определения степени помола древесноволокнистой массы: для дефибратора

$$ДС = f(L/h, z, n); \quad (1)$$

для рафинатора

$$ДС = f(L/h, z, c), \quad (2)$$

где  $L/h$  – отношение высоты ячейки к ее ширине (износ сегментов);  
 $z$  – зазор между размалывающими поверхностями, мм;  
 $n$  – скорость вращения нижнего (разгрузочного) шнека, об./мин;  
 $c$  – концентрация древесноволокнистой массы, %.

Для выявления, оценки и математического описания влияния вышеуказанных геометрических и технологических параметров размалывающих машин на качество помола массы спланирован и проведен по В-плану второго порядка активный трехфакторный эксперимент в условиях действующего производства. Интервалы и уровни варьирования исследуемых факторов приведены в табл. 2.

В результате реализации спланированного многофакторного эксперимента получены следующие регрессионные зависимости:

для дефибратора

$$ДС = 5,2083 + 0,27846(L/h) + 16,6371z + 0,69343n - 0,00469(L/h)^2 - 50z^2 - 0,008661n^2 - 0,62495((L/h)z) - 0,0221((L/h)n) - 0,8824(zn); \quad (3)$$

для рафинатора

$$ДС = -99,9491 - 0,39619(L/h) + 80,44948z + 80,95748c + 0,014057(L/h)^2 - 110z^2 - 13,2996c^2 + 0,625((L/h)z) + 0,00000315((L/h)z) - 27(zc). \quad (4)$$

Эти уравнения справедливы для широкого диапазона управляемых факторов. Поэтому построенные по этим моделям графики можно выполнить при фиксированных значениях факторов  $L/h$ ,  $z$ ,  $n$  на максимальном или минимальном уровнях, а искомые значения при фиксировании факторов на среднем (нулевом) уровне будут находиться в рассматриваемом диапазоне, т.е. между максимальной и минимальной кривыми. В качестве примера на рис. 2 представлены графические зависимости степени помола массы от скорости вращения падающего шнека и степени износа размалывающих дисков для дефибратора и от концентрации древесноволокнистой массы и степени износа размалывающих дисков для рафинатора при фиксированном зазоре между размалывающими сегментами на максимальном уровне ( $z = 0,15$  мм).

Как видно из рис. 2, а, при износе сегментов на 90 % степень помола массы ухудшается с увеличением оборотов нижнего шнека, визуально волокно имеет неразмолотую структуру – наличие крупной фракции, спичек, и щепочек. С увеличением зазора, при тех же характеристиках, степень помола снижается. Так, при  $z = 0,1$  мм и  $n = 12,5$  об./мин степень помола ДС = 11,2, а при том же самом зазоре и  $n = 15,5$  об./мин степень помола ДС = 12,0 (графики влияния зазора на исследуемую величину не представлены). Из приведенных графиков следует что скорость вращения нижнего шнека на дефибраторе имеет исключительно важное значение для выхода качественной, хорошо размолотой массы.

На основании вышеизложенного можно отметить, что на первой ступени размолы при износе дисков до 10 % и соотношении  $x_1 = L/h(-1) = 12/10$  наибольшая степень помола была достигнута при зазоре  $x_2 = z(-1) = 0,05$  мм и числе оборотов нижнего шнека  $x_3 = n(+1) = 15,4$  об./мин, а наилучший фракционный состав – при  $x_1 = L/h(-1) = 12/10$ ;  $x_2(0) = 0,10$  мм;  $x_3(0) = 13,7$  об./мин. При износе дисков 50 и 90 % наблюдалась аналогичная закономерность.

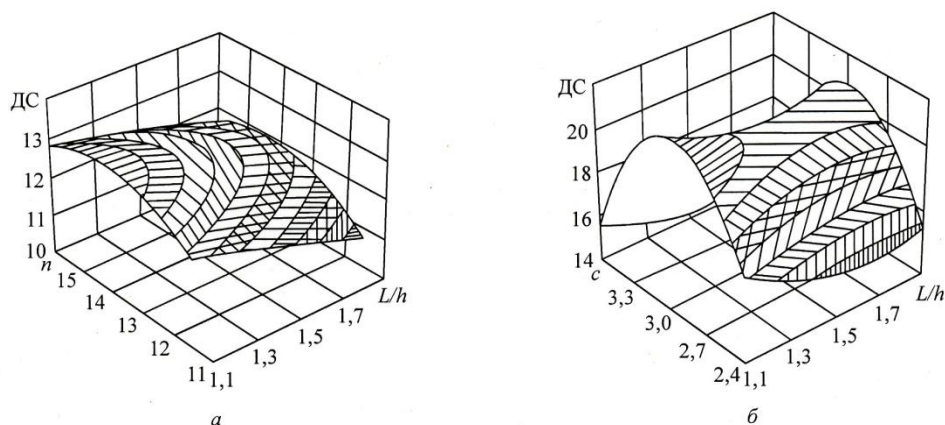


Рис. 2. Зависимость степени помола массы от параметров дефибратора (а) и рафинатора (б)

При исследовании влияния концентрации массы на второй ступени размола (диапазон концентраций (-1) = 2,5 %; (0) = 3,0 %; (+1) = 3,5 %) на качество получаемой массы установлено, что степень помола массы повышается незначительно с увеличением концентрации массы, однако существенно изменяется ее фракционный состав. При этом возрастает содержание волокон средней фракции (4/10), а содержание волокон крупной фракции (-/4) снижается, что указывает на преобладание вторичного размола при высоких концентрациях процессов истирания массы до отдельных волокон. Содержание волокон самой мелкой фракции (10/0) остается примерно на одном уровне, что указывает на отсутствие укорачивания волокон. При концентрации более 3,5 % происходит забивание канавок размольных дисков, процесс рубки волокон протекает более интенсивно (укорочение, преобладание фракции пыли, волокна малофибриллированы).

На второй ступени размола наибольшая степень помола была достигнута при износе  $x_1 = L/h(-1) = 10/8$ ;  $x_2 = z(-1) = 0,05$  мм;  $x_3 = c(0) = 3,0$  %. Фракционный состав оказался наилучшим при  $x_1 = L/h(-1) = 10/8$ ;  $x_2 = z(0) = 0,1$  мм;  $x_3 = c(0) = 3,0$  %.

Таким образом, в ходе экспериментов установлено, что как на дефибраторе, так и на рафинаторе, после определенного промежутка времени работы размалывающих сегментов, ротор истирается интенсивнее статора, поэтому необходимо ротор изготавливать из более прочного материала.

Полученные в работе расчетные зависимости степени помола от конструктивных и технологических параметров первой и второй ступеней размола в производстве ДВП позволяют при известных значениях конструктивных и технологических параметров, представленных в данной работе, определять оптимальную степень помола массы и тем самым улучшать прочностные показатели плит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алашкевич, Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск, 1990. – 361 с.
2. Чистова, Н.Г. Исследование процесса размола древесной массы на промышленных установках при производстве ДВП [Текст]: монография / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 114 с.

Поступила 16.03.09

*N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich*  
Siberian State Technological University

#### **Preparation of Wood Fiber for Fiberboard Production**

The effect of design and process parameters of grinding machines on mechanical wood characteristics in the fiberboard production is assessed. It is established that rotor is abraded sooner than stator in grinding machines after a certain operation period of grinding segments.

Keywords: milling grade, wood-fiber mass concentration, rafinator, defibrator, fractional content, fittings wear, chips, wood fiber.

---