

Ц Б К

Pulp

еллюлоза

Paper

умага

Board

артон

02 [2010]

- Новый завод в Коряжме.
- Российская ЦБП. Взгляд “со стороны”
- Сообщают корреспонденты “ЦБК”:
Окуловка; Тульская область...
- Наше интервью.
- Наука и технология.
- Представляют зарубежные поставщики?
- Приглашение в Хельсинки.
- Конференции, семинары, выставки...
- Логистика — продолжение рубрики.
- Особенности ЦБП Финляндии.

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР
С. Петербург, ул. Лавина Черных, 4

УДК 676.054.1.3
ББК 35.77

Диспергирование волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате

Н. П. Мидуков, В. С. Куров,
А. О. Никифоров, СПб ГТУРП

Роторно-пульсационный аппарат (РПА) нашел широкое применение в целлюлозно-бумажной промышленности для подготовки химикатов, красителей наполнителей проклеивающих составов, а также для диспергирования бумажной массы. Сложная гидродинамика потока, вызванная конструктивной особенностью и реологическими свойствами бумажной массы, присутствие насосного эффекта создает сложности при расчете этих аппаратов. Однако, для эффективной работы роторно-пульсационного аппарата необходимо определение оптимальных технологических режимов и конструктивных параметров диспергирующей гарнитуры. Зависимости технологических характеристик от конструктивных параметров получают на основании теоретических и экспериментальных исследований.

В основу теории процесса диспергирования бумажной массы в роторно-пульсационном аппарате, созданном на базе центробежного насоса, положена модель воздействия на волокно основных гидромеханических факторов, обусловленных кавитационным, пульсационным, жидкостным, ударным и ме-

ханическим воздействием на обрабатываемую среду.

Для диспергирования бумажной массы наиболее эффективен механический фактор, воздействующий на пучки нераспущенных волокон. Мощность, затрачиваемая на его создание, описывается первым слагаемым в уравнении (1). Кроме того, при диспергировании в роторно-пульсационном аппарате присутствуют ударное, кавитационное, пульсационное и воздействия жидкостного трения. Затраты мощности на их создание соответствуют второму, третьему, четвертому и пятому слагаемому этого уравнения. В сумме они представляют собой мощность, затрачиваемую на диспергирование. Для РПА, созданного на базе центробежного насоса, отдельно выделена мощность насосного эффекта. В сумме с мощностью диспергирования определяется полезная мощность роторно-пульсационного аппарата:

$$N_{\Sigma} = B_s \cdot (l_p \cdot z_{pp} \cdot z_{pc} \cdot n) + \left(\frac{\Delta p^2}{2\rho \cdot c^2} + \frac{V_0 \cdot c \cdot v_1^2}{2} \right) \cdot \frac{v_1 - v_2}{2 \cdot r} + \left(\frac{\Delta p_A^2}{2 \cdot \rho \cdot c^2} + \frac{\rho \cdot V_0 \cdot v_{cp}^2}{2} \right) \cdot z_p \cdot n + \frac{4\pi \cdot p_K \cdot a_{OK}^3 \cdot k_n \cdot m_K \cdot v_{cp}}{3 \cdot (m_C + m_p + \delta)} + (b_p \cdot z_p \cdot l_{\delta} \cdot \tau) \cdot \dot{\gamma} + \rho \cdot g \cdot H \cdot Q,$$

где N_{Σ} – полезная мощность роторно-пульсационного аппарата, Вт;

B_s – работа размола в зазоре между выступами ротора и статора, Дж/м;

l_p – высота прорезей ротора и статора, м;

z_{pp}, z_{pc} – число зубьев ротора и статора, шт.;

n – частота вращения ротора, с⁻¹;

Δp – разность давлений между нормальным и возникшим в результате гидравлического удара, Па;

V_0 – объем в радиальном зазоре между кольцами ротора и статора, м³;

ρ – плотность бумажной массы, ;

c – скорость звуковых волн в жидкости, м/с;

v_1, v_2 – скорость пучков до столкновения и после, м/с;

Δp_A – звуковое давление, Па;

r – радиус ротора, м;

p_K – давление на поверхности твердого тела, обусловленное захлопыванием пузырьков при кавитации, МПа;

a_{OK} – начальный размер пузырька при кавитации, м;

k_n – количество пузырьков в единице объема, шт.;

m_C, m_p – толщина кольца статора и ротора соответственно, м;

m_K – число циклов пульсации пузырька за время прохождения им кавитационной области;

v_{cp} – средняя скорость в зазоре между кольцами, м/с;

τ – касательное напряжение в зазоре между кольцами, Па;

$\dot{\gamma}$ – градиент скорости в зазоре, с⁻¹;

l_{δ} – длина выступов ротора и статора в радиальном зазоре, м;

δ – ширина зазора между ротором и статором в радиальном зазоре, м;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Напор H и объемный расход Q роторно-пульсационного аппарата, созданного на базе центробежного насоса, определялись из следующих формул:

$$Q = \varphi \cdot D^3 \cdot \left(\frac{b_p}{D}\right)^{n_Q} \cdot \left(\frac{b_c}{D}\right)^{\lambda_Q} \cdot n \cdot z_p^{\zeta_Q} \cdot z_c^{\zeta_Q}, \quad (2)$$

$$H = \psi \cdot \frac{D^2 \cdot n^2}{g} \cdot \left(\frac{b_p}{D}\right)^{\beta_H} \cdot \left(\frac{b_c}{D}\right)^{\lambda_H} \cdot z_p^{\zeta_H} \cdot z_c^{\zeta_H}, \quad (3)$$

где b_p, b_c – ширина прорезей ротора и статора, м;

z_p, z_c – количество прорезей ротора и статора, шт.;

D – диаметр ротора, м;

φ, ψ – коэффициенты, зависящие от технологических свойств бумажной массы, которые определяются опытным путем;

$\beta_Q, \lambda_Q, \zeta_Q, \beta_H, \lambda_H, \zeta_H, \zeta_H$ – коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров элементов ротора и статора, находятся экспериментально.

Условием для диспергирования бумажной массы и разрушения нераспущенных пучков волокон является неравенство (4):

$$N_D > \frac{3 \cdot \sigma^2 \cdot Q \cdot (j-1)}{2 \cdot E_{II} \cdot \eta_{РПА}}, \quad (4)$$

где N_D – мощность, затрачиваемая РПА на диспергирование, Вт;

σ – напряжение необходимое для разрушения пучка волокна, Па;

j – степень измельчения;

E_{II} – модуль упругости пучка нераспущенного волокна, Па;

$\eta_{РПА}$ – коэффициент полезного действия РПА.

Исходя из реологических свойств бумажной массы, следует, что создание диспергированного потока на выходе из аппарата возможно при выполнении условия:

$$\frac{2 \cdot U}{D_y} \geq \gamma_{кр}, \quad (5)$$

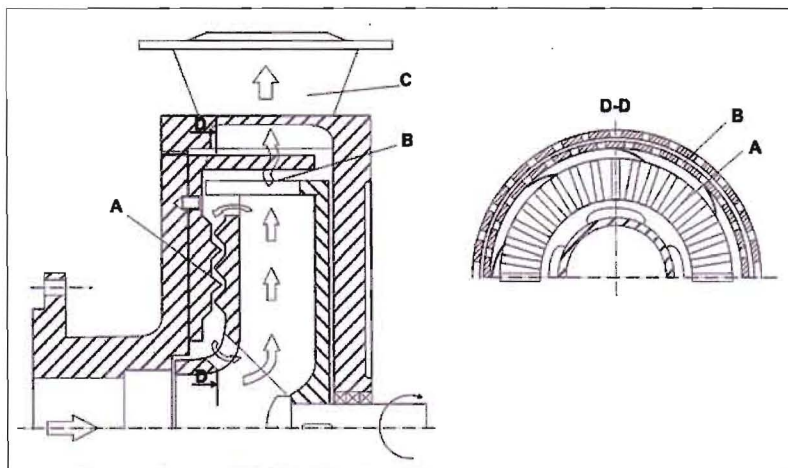


Рис. 1. Схема движения потока бумажной массы в роторно-пульсационном аппарате: А – зона механического воздействия; В – зона радиального зазора; С – зона отвода; 1 – корпус; 2 – ротор; 3, 4 – кольцо с прорезями ротора и статора; 5, 6 – рифления ротора и статора; 7 – регулировка зазора; 8, 9 – входной и выходной патрубки.

где U – скорость потока в выходном патрубке аппарата, м/с;

D_y – диаметр выходного патрубка аппарата, м;

$\gamma_{кр}$ – критическое значение градиента скорости, которое определяется исходя из реологической кривой, с⁻¹.

Нераспущенный пучок волокон бумажной массы обладает значительной прочностью в отличие от прочности капель в эмульсии и сгустков в мелкодисперсной суспензии. Поэтому для его деформации необходимо приложить усилия сдвига, которые обусловлены механическим воздействием. Уравнения (1), (2), (3) устанавливают связь полезной мощности с конструктивными параметрами РПА, предназначенного для диспергирования и транспортировки бумажной массы. Условия (4) и (5) определяются технологическими характеристиками бумажной массы.

Таким образом, полученные теоретические зависимости позволяют рассчитать мощность, которую необходимо затратить для диспер-

гирования бумажной массы, являющейся реологически сложной системой, с учетом комплекса гидромеханических факторов, воздействующих на волокно при различных конструктивных параметрах РПА.

На основании проведенного теоретического анализа и по критическому анализу литературных источников было установлено, что наиболее эффективное диспергирование бумажной массы проходит под механическим воздействием. Поэтому было решено усилить механический фактор, воздействующий на бумажную массу, за счет дополнительной зоны рифления в аппарате. Для этого была разработана конструкция РПА для диспергирования бумажной массы с усилением механического воздействия (рис. 1). Разработка защищена патентом Российской Федерации № 70154.

РПА состоит из корпуса 1 (рис. 1) со спиральным отводом. На лопастином колесе – роторе 2 имеются рифления 5. На ротор и статор установлены кольца с прорезями 3, 4. На статоре и роторе, имеются рифления 5, 6.

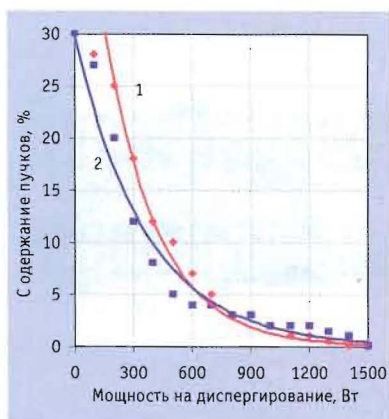


Рис. 2. Зависимость процентного содержания нераспущенных пучков волокон от мощности, затраченной на диспергирование в роторно-пульсационном аппарате: 1 – для бумажной массы на основе сульфатной беленой целлюлозы из хвойных пород древесины; 2 – для бумажной массы на основе макулатуры

Для изменения ширины зазора в зоне рифления А предусмотрено резьбовое соединение 7. Обрабатываемая среда подается во входной патрубок аппарата 8 и удаляется через нагнетательный трубопровод 9. Пучки нераспущенных волокон задерживаются перед кольцами и отводятся в зону рифления, где происходит их интенсивное диспергирование под механическим воздействием. Таким образом, создается циркуляция в аппарате. Основной поток бумажной массы проходит через зону радиального зазора В, где осуществляется воздействие на обрабатываемую среду ударом, пульсацией, кавитацией и жидкостным трением. Диспергированный поток бумажной массы отводится через выходной патрубок, проходя зону С.

Путем проведения процедуры экспоненциальной регрессии были получены зависимости для бумажной массы на основе суль-

фатной беленой целлюлозы из хвойных пород древесины (6) и для бумажной массы на основе макулатуры (7) (рис. 2).

$$c = 28,5 \cdot e^{-0,00274 \cdot N_D}; \quad (6)$$

$$c = 54,642 \cdot e^{-0,0037 \cdot N_D}. \quad (7)$$

Результаты экспериментальных исследований, полученные при работе аппарата с различными геометрическими параметрами ротора и статора, представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что с увеличением полезной мощности РПА процентное содержание нераспущенных пучков волокон снижается. Проведенные экспериментальные исследования в РПА с различными геометрическими параметрами ротора и статора позволяют утверждать об их влиянии на степень диспергирования бумажной массы. График также показывает резкое увеличение полезной мощности на конечной стадии диспергирования, когда требуется уменьшить содержание нераспущенных пучков ниже 1 %.

При проведении экспериментальных исследований в РПА контролировались длина волокна и степень помола бумажной массы (рис. 4).

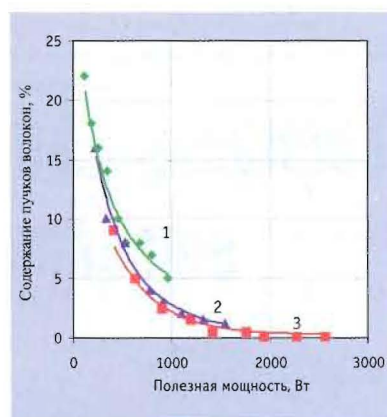


Рис. 3. Зависимость процентного содержания нераспущенных пучков волокон от полезной мощности: 1 – расчетные значения функции $c = f(N_{\Sigma})$ при $z_{pp} = z_{pc} = 30$, $l_p = 0,01$ м, $D = 0,125$ м; $\blacklozenge$ – данные, полученные опытным путем при $z_{pp} = z_{pc} = 30$, $l_p = 0,01$ м, $D = 0,125$ м; 2 – расчетные значения функции $c = f(N_{\Sigma})$ при $z_{pp} = z_{pc} = 40$, $l_p = 0,02$ м, $D = 0,125$ м; $\blacktriangle$ – данные, полученные опытным путем при $z_{pp} = z_{pc} = 40$, $l_p = 0,02$ м, $D = 0,125$ м; 3 – расчетные значения функции $c = f(N_{\Sigma})$ при $z_{pp} = z_{pc} = 50$, $l_p = 0,03$ м, $D = 0,125$ м; $\blacksquare$ – данные полученные опытным путем при $z_{pp} = z_{pc} = 50$, $l_p = 0,03$ м, $D = 0,125$ м

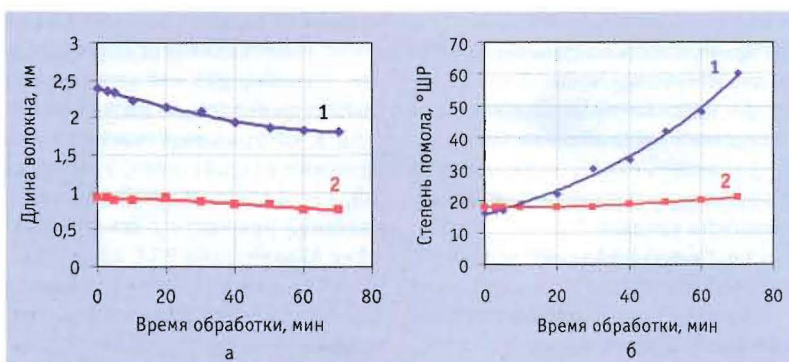


Рис. 4. Влияние обработки бумажной массы в роторно-пульсационном аппарате на изменение длины волокна (а) и степени помола (б): 1 – бумажная масса на основе сульфатной беленой целлюлозы из хвойных пород древесины; 2 – бумажная масса на основе сульфатной беленой целлюлозы из лиственных пород древесины.

Из графиков, изображенных на рис. 4, видно, что кратковременная обработка бумажной массы в роторно-пульсационном аппарате незначительно влияет на укорочение длины волокна и изменение степени помола, следовательно качество готовой картонной или бумажной продукции не ухудшится. Таким образом, роторно-пульсационный аппарат может быть использован в технологии массоподготовительного отдела производства бумажной и картонной продукции.

Полученные на основании теоретических и экспериментальных исследований зависимости позволяют определить влияние конструктивных параметров рабочих элементов РПА на степень диспергирования бумажной массы. На рис. 5 и 6 представлены зависимости процентного содержания нераспущенных пучков волокон от основных геометрических параметров ротора и статора аппарата, влияющих на диспергирование бумажной массы.

Из рисунков видно, что при увеличении числа выступов ротора и

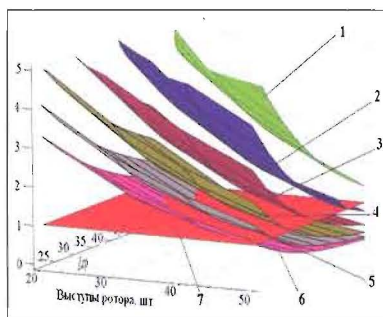


Рис. 5. Влияние количества выступов ротора и статора на процентное содержание нераспущенных пучков волокон ($D=0,125$ м, $l_p = 0,020$ м): 1 – при частоте вращения ротора $n=25$ с⁻¹; 2 – $n=30$ с⁻¹; 3 – $n=35$ с⁻¹; 4 – $n=40$ с⁻¹; 5 – $n=45$ с⁻¹; 6 – $n=50$ с⁻¹; 7 – допустимое значение содержания нераспущенных пучков волокон.

статора (рис. 5), а также длины зоны рифления (рис. 6) происходит снижение процентного содержания нераспущенных пучков волокон. Степень диспергирования также зависит от частоты вращения ротора.

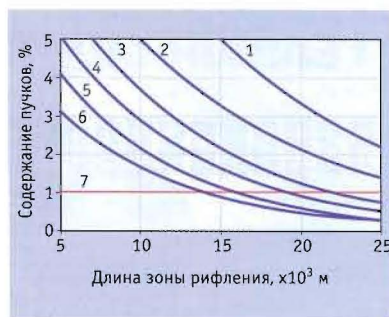


Рис. 6. Влияние длины зоны рифления на процентное содержание нераспущенных пучков волокон ($D=0,125$ м, $l_p = 0,020$ м): 1 – при частоте вращения ротора $n=25$ с⁻¹; 2 – $n=30$ с⁻¹; 3 – $n=35$ с⁻¹; 4 – $n=40$ с⁻¹; 5 – $n=45$ с⁻¹; 6 – $n=50$ с⁻¹; 7 – допустимое значение содержания нераспущенных пучков волокон.

Таким образом, определяются оптимальные геометрические параметры и режим работы РПА, диспергирующего бумажную массу для заданной технологии массоподготовки.

В 16-й раз!

В 2010 году выйдет из печати 16-ое (!) издание справочника «Адресная база предприятий ЦБП России, Украины, Белоруссии и Казахстана», которое регулярно предлагает своим читателям редакция журнала «Целлюлоза. Бумага. Картон.» в бумажном и электронном виде.

Новое издание дополнено информацией о недавно появившихся предприятиях, в него внесены изменения адресных данных, персонального состава руководителей, новинки ассортимента вырабатываемой продукции, недавно установленное и модернизированное оборудование.

Кроме того, в справочнике появятся новые разделы.

Цена справочника в 2010 г. — 30 условных единиц. Заявки принимаются по e-mail: info@cbk.ru или по факсам: (495) 258-39-36; 258-39-37; 258-39-38.

ООО Редакция «ЦБК»