

УДК 677.057:532.5

**АНАЛИЗ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
РАБОЧИХ СРЕД МЕЖДУ СТОЛБАМИ  
ПАКОВОК НОСИТЕЛЯ МАТЕРИАЛА  
ПРИ ЖИДКОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ И СУШКЕ\***

*Н.В. КИСЕЛЕВ*

**(Костромской государственной технологической университет)**

Жидкостная обработка паковок текстильных материалов в виде ровницы, пряжи, ниток в аппаратах серии АКД и сушка их в аппаратах СКД производится на носителях материала типа НР-С6-2, НРВ-3, НРН-3, НБЦ-С6-2, НБЦ-6Н и их модификациях, основой которых является распределительная тарелка, подводящая обрабатываемую среду к отдельным столбам паковок.

Оценим теоретически неравномерности распределения рабочих сред между столбами паковок, расположенными на различном удалении от центра тарелки.

Рассмотрим радиальное течение идеальной жидкости в полости тарелки носителя.

Из уравнения изменения количества движения среды, текущей по полости тарелки (при одномерном движении):

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Г.К. Кузнецова.

$$\frac{\partial^2}{\partial r \partial \tau} (m v) = \frac{dF_R}{Dr}, \quad (1)$$

Для установившегося течения в радиальном направлении

$$m = \rho Q \tau, \quad v = \frac{Q}{2\pi r h(r)}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса выделенного объема среды, текущей по столбу паковок;  $F_r$  – равнодействующая сил тяжести, реакции стенок, гидростатического давления и вязкого трения, действующих на выделенный объем жидкости в столбе паковок в проекции на радиус  $r$ ;  $h(r)$  – высота профиля тарелки на радиусе  $r$ ;  $v$  – скорость среды;  $\rho$  – плотность среды;  $Q$  – объемный расход среды.

Подставив (2) в (1) и продифференцировав по  $\tau$  и  $r$ , получим:

$$\frac{\rho Q}{2\pi} \left( \frac{2}{rh} \frac{dQ}{dr} - \frac{Q \left( r \frac{dh}{dr} + h \right)}{r^2 h^2} \right) = \frac{dF_r}{dr}. \quad (3)$$

Из сил, действующих на элементарный объем среды, можно учитывать только реакцию стенок тарелки и гидростатическое давление, поскольку при горизонтальном течении действие сил тяжести отсутствует, а силами трения о стенки тарелки можно пренебречь:

$$dF = dR - dP = -2\pi h dp, \quad (4)$$

так как

$$dR = pdS, \\ dP = pdS + Sdp, \quad S = 2\pi r h.$$

Подставим (4) в (3):

$$\frac{\rho Q}{2\pi} \left( \frac{2}{rh} \frac{dQ}{dr} - \frac{Q \left( r \frac{dh}{dr} + h \right)}{r^2 h^2} \right) + 2\pi r h \frac{dp}{dr} = 0.$$

При равномерной раздаче давление в полости тарелки должно оставаться постоянным, то есть  $dp/dr=0$ ;

$$\frac{2}{rh} \frac{dQ}{dr} - \frac{Q \left( r \frac{dh}{dr} + h \right)}{r^2 h^2} = 0.$$

При  $h \neq 0, r \neq 0$ :

$$2 \frac{dQ}{dr} - \frac{Q \left( r \frac{dh}{dr} + h \right)}{rh} = 0. \quad (5)$$

При равномерной раздаче

$$dQ/dr = r, \quad \int_0^R \frac{dQ}{dr} dr = Q_0.$$

Отсюда:

$$\frac{dQ}{dr} = -\frac{2Q_0}{R^2} r, \quad Q = Q_0 \left( 1 - \frac{r}{R} \right) \quad (6)$$

и подставив (6) в (5), получим дифференциальное уравнение для  $h(r)$ :

$$\frac{dh}{dr} = -h \left( \frac{4}{R \left( \frac{R}{r} - 1 \right)} + \frac{1}{r} \right). \quad (7)$$

Решение уравнения (7) с начальным условием  $h(2,25)=1,5$  дм, задающим высоту профиля на радиусе внутреннего ряда столбов паковок, представляет профиль тарелки, обеспечивающий равномерную раздачу жидкости по ее радиусу (рис. 1, кривая 1; кривая 2 – дискретная раздача).

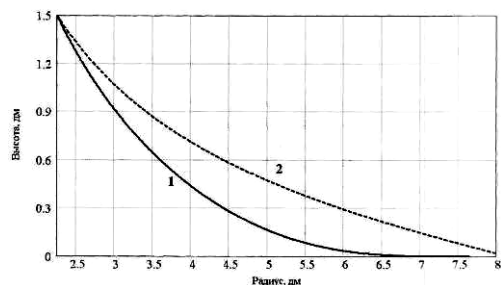


Рис. 1

При  $g \rightarrow R$   $h \rightarrow 0$ , что объясняется необходимостью обеспечить постоянную скорость течения снижением площади проходного сечения при уменьшении транзитного расхода. Однако высота тарелки на радиусе, например, 675 мм, где расположены столбы внешнего ряда носителей НРН-3, НРВ-3, должна составить всего 0.4 мм, что вызывает серьезные сомнения в применимости уравнения (7). Сложность заключается в том, что на практике разбор жидкости из тарелки происходит не непрерывно по радиусу, а в ряде фиксированных точек, где расположены столбы паковок.

Определим оптимальный профиль тарелки для данного случая, основываясь на уравнении Бернулли для идеальной жидкости.

$$\begin{aligned} \frac{2p_1}{\rho} + \left( \frac{Q_0}{h_1 \pi d_1} \right)^2 &= \frac{2p_2}{\rho} + \left( \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{h_2 \pi d_2} \right)^2, \\ \frac{2p_3}{\rho} + \left( \frac{Q_3 + Q_4}{h_3 \pi d_3} \right)^2 &= \frac{2p_2}{\rho} + \left( \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{h_2 \pi d_2} \right)^2, \\ \frac{2p_1}{\rho} + \left( \frac{Q_0}{h_1 \pi d_1} \right)^2 &= \frac{2p_4}{\rho} + \left( \frac{Q_4}{h_4 \pi d_4} \right)^2, \\ p_1 &= a \frac{Q_1}{n_1 h}, \quad p_2 = a \frac{Q_2}{n_2 h}, \quad p_3 = a \frac{Q_3}{n_3 h}, \quad p_4 = a \frac{Q_4}{n_4 h}, \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 &= Q_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Система (8) позволяет рассчитать расходы  $Q_i/n_i$ , приходящиеся на один столб паковок при заданных  $n_i$ ,  $d_i$ ,  $h_i$ ,  $a$ ,  $h$ ,  $Q_0$ , и оценить неравномерность распределения среды между четырьмя рядами столбов паковок, расположенных на различных радиусах.

При равномерной раздаче:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 = p_3 = p_4, \\ Q_i &= Q_0 \frac{n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i}, \end{aligned}$$

и система (8) после исключения  $p_i$ ,  $Q_i$ ,  $Q_0$  решается относительно  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$ , что позволяет

Введем обозначения:  $Q_1 \dots Q_4$  – суммарные расходы среды через столбы паковок 1...4 ряда;  $Q_0$  – расход жидкости, подаваемый в тарелку носителя;  $n_1 \dots n_4$  – число столбов паковок соответственно в 1...4 рядах;  $p_1 \dots p_4$  – давление жидкости в сечениях тарелки, соответствующих столбам паковок 1...4 ряда;  $h$  – высота столба паковок;  $a$  – коэффициент сопротивления паковок;  $d_1 \dots d_4$  – диаметры установки столбов 1...4 ряда;  $h_1 \dots h_4$  – высота профиля тарелки на диаметрах  $d_1 \dots d_4$ .

Связав сечения 1-4 уравнением Бернулли и считая давление среды в столбах равным гидравлическому сопротивлению паковок, получим систему:

рассчитывать профиль тарелки с четырьмя рядами столбов паковок, обеспечивающий равномерную раздачу среды:

$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 \frac{d_1}{d_2} \frac{\sum_{i=2}^4 n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i}, \\ h_3 &= h_1 \frac{d_1}{d_3} \frac{\sum_{i=3}^4 n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i}, \\ h_4 &= h_1 \frac{d_1}{d_4} \frac{\sum_{i=4}^4 n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i}. \end{aligned} \quad (9)$$

Очевидно, что формулы (9) можно обобщить на любое число рядов столбов паковок:

$$h_j = h_1 \frac{d_1}{d_j} \frac{\sum_{i=j}^k n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (10)$$

где  $k$  – общее число рядов;  $j$  – текущий номер ряда.

Профиль тарелки для дискретной задачи потока, рассчитанный по формуле (10), представлен на рис.1, кривая 2. Высота профиля на радиусе внешнего ряда столбов паковок составляет 18,2 мм.

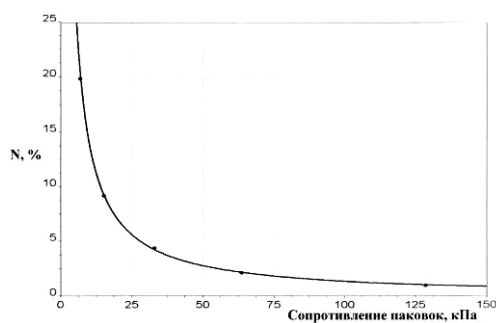


Рис. 2

Для решения вопроса о целесообразности модернизации существующих конструкций носителей материала оценим неравномерность распределения рабочих сред между столбами паковок при различных операциях (рис. 2)

Рассмотрим жидкостную обработку ровницы на носителе НРН-3 с постоянной высотой профиля тарелки 60 мм, имеющем 11 столбов высотой 1 м на диаметре 450 мм, 19 – на диаметре 750 мм, 26 – на диаметре 1050 мм и 32...1350 мм при расходе  $I$  143 л/с. Общий расход на сдвоенный носитель при этом составляет 250 л/с и соответствует производительности насоса ОХР-35х2 аппарата АКДС-601.

Решения уравнений (8) при различных значениях коэффициента сопротивления паковок и прямой циркуляции представлены на рис.2.

Из графика следует, что даже при односторонней циркуляции ощутимая неравномерность может иметь место лишь при обработке материалов с сопротивлением менее 20 кПа (2 м водн.ст.), например, льняной пряжи или ровницы с малой плотностью намотки.

Расчеты показывают, что при обратной циркуляции ( $Q_0 < 0$  в уравнениях (8)) значе-

ния неравномерности примерно соответствуют рис.2, но в преимущественном положении оказываются столбы, расположенные на меньшем радиусе.

В результате при двусторонней циркуляции средняя за цикл смены циркуляции неравномерность становится пренебрежимо малой. Можно заключить, что тарелки серийных носителей материала, предназначенных лишь для жидкостной обработки материалов в паковках, модернизации не требуют.

Однако для носителей, предназначенных для крашения и сушки пряжи (при сушке скоростной напор в полости тарелки растет, а статический падает по сравнению с жидкостной обработкой), число Эйлера существенно уменьшается и можно ожидать усиления неравномерности.

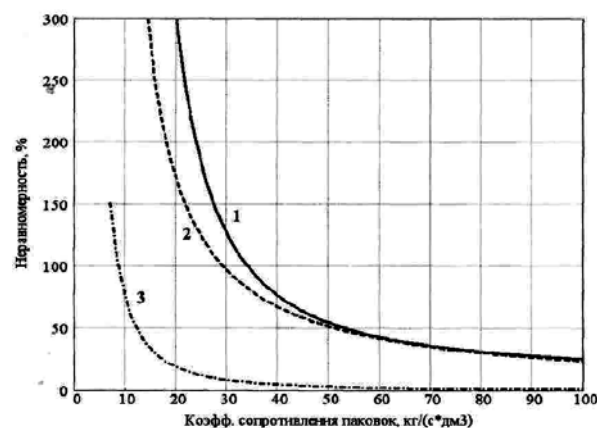


Рис. 3

Результаты расчетов для носителя НБЦ-6Н, имеющего три ряда столбов паковок на цилиндрических патронах, при расходе воздуха 2 м³/с и плотности его 5,5 кг/м³ приведены на рис. 3 (неравномерность распределения расхода воздуха между рядами столбов паковок носителя НБЦ-6Н при прямой (1), обратной (2) и двусторонней (3) циркуляции). Из графиков видно, что при низком сопротивлении материала неравномерность может достигать недопустимо больших величин.

Например, коэффициент сопротивления паковок льняной пряжи плотностью 0,33 г/см³ при влажности 110% составляет 22 кг/(с\*дм³), а при 60% – всего 12 кг/(с\*дм³) [1]. При этом начальная нерав-

номерность (18%) в первом периоде сушки быстро возрастает, из-за чего время сушки партии в целом может существенно увеличиться. Очевидно, что для обработки материалов с низким гидравлическим сопротивлением целесообразна разработка носителей материала с равномерной раздачей потока по радиусу тарелки.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель радиального течения среды по распределительной тарелке носителя материала аппаратов типа АКД и рассчитан профиль тарелки, обеспечивающий равномерную раздачу потока.

2. Для обработки материалов с низким гидравлическим сопротивлением (например, льняной пряжи), подвергаемых последующей сушке в аппаратах СКД, целесообразна разработка носителей материала с равномерной раздачей потока по радиусу тарелки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Киселев Н.В.* Оптимизация процессов фильтрации рабочих сред через столб паковок в аппаратах с неполным заполнением жидкостью: Дис... канд. техн. наук. – Кострома: КТИ, 1986.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 28.05.07.

---