

О СНИЖЕНИИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОЧИХ СРЕД МЕЖДУ ПАКОВКАМИ, ИМЕЮЩИМИ РАЗБРОС ПО ПРОНИЦАЕМОСТИ*

Н.В.КИСЕЛЕВ

(Костромской государственной технологической университет)

Одним из возможных способов снижения неравномерности распределения рабочих сред между паковками, имеющими разброс по проницаемости, является повышение сопротивления перфорации патронов что связано с разработкой новых патронов и переоснащением ими текстильных предприятий.

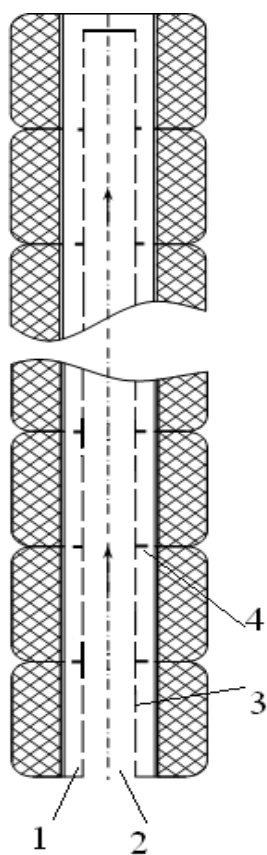


Рис. 1

Для существующих типов патронов определенными возможностями выравнивания расходов обладает стержень с двуполостным движением среды (рис. 1, где 1 – полость 1; 2 – полость 2; 3 – перфорированная труба; 4 – дроссельные шайбы) [1], центральная труба которого должна иметь перфорацию с большим коэффициентом сопротивления.

Рассмотрим течение рабочей среды в данной конструкции стержня с учетом перфорации трубы. Введем следующие обозначения: m – масса выделенного объема среды, текущей по столбу паковок; F_x – равнодействующая сил тяжести, реакции стенок, гидростатического давления и вязкого трения, действующих на выделенный объем жидкости в столбе паковок в проекции на ось x ; v – скорость среды; ρ – плотность среды; Q – транзитный расход среды; S – площадь проходного сечения столба паковок; R_r – гидравлический радиус проходного сечения; λ – коэффициент гидравлического сопротивления проходного сечения; g – ускорение силы тяжести; $\text{sign } g$ – знаковая функция, учитывающая разность гидростатического давления между внутренними полостями столба и окружающим объемом (при сушке и при жидкостной обработке с полным заполнением аппарата раствором равно 0, при неполном заполнении равно 1); $\text{sign } Q$ – знаковая функция (при совпадении направления движения среды с направлением оси x равно 1, иначе -1); τ – время; x – координата.

* Работа выполнена под руководством заслуженного деятеля науки и техники, проф., докт. техн. наук Г.К. Кузнецова.

Считая движение среды одномерным, из уравнения изменения количества движения среды, текущей по каждой полости в столбе паковок, получим:

$$\frac{\partial^2}{\partial x \partial \tau} (m v) = \frac{dF_x}{dx} \quad (1)$$

Для установившегося течения

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

Подставляя (2) в (1) и дифференцируя, получим:

$$\frac{\rho}{S^2} \left(2 Q S \frac{dQ}{dx} - Q^2 \frac{dS}{dx} \right) = \frac{dF_x}{dx} \quad (3)$$

В [2] производная от F_x представлена как

$$\frac{dF_x}{dx} = -\rho S g \operatorname{sign} g - S \frac{dp}{dx} - \frac{\lambda}{4R_r} \rho \frac{Q^2}{2S^2} \operatorname{sign} Q \quad (4)$$

Используя упрощенные обозначения производных и считая $S = \text{const}$, из (3) и (4) получим выражение для производной от

давления в полости 1 (внутри центральной трубы):

$$p'_1 = -\rho \left(\frac{2Q_1}{S_1^2} Q'_1 + \frac{\lambda_1}{8R_{r_1}} \frac{Q_1^2}{S_1^3} \operatorname{sign} Q_1 + g \operatorname{sign} g \right) \quad (5)$$

Для полости 2 (между патроном и трубой):

$$p'_2 = -\rho \left(\frac{2Q_2}{S_2^2} Q'_2 + \frac{\lambda_2}{8R_{r_2}} \frac{Q_2^2}{S_2^3} \operatorname{sign} Q_2 + g \operatorname{sign} g \right) \quad (6)$$

Давление p_1 в полости 1 в любом сечении отличается от p_2 на величину сопротивления перфорации центральной трубы:

где ξ_T – коэффициент сопротивления перфорации.

Дифференцируя по x и считая $\xi_T = \xi_T(x)$, получим:

$$p_1 = p_2 + \xi_T \frac{\rho}{8\pi S_1} (Q'_1)^2 \operatorname{sign} Q_1,$$

$$p'_1 = p'_2 + \xi_T \frac{\rho}{4\pi S_1} Q'_1 Q''_1 \operatorname{sign} Q_1 + \xi'_T \frac{\rho}{8\pi S_1} (Q'_1)^2 \operatorname{sign} Q_1 \quad (7)$$

Из (5)...(7) выразим Q''_1 :

$$Q''_1 = \left\{ 4\pi \left[\left(2 Q'_2 + \frac{\lambda_2}{8R_{r_2}} |Q_2| \right) \frac{S_1 Q_2}{S_2^2 Q'_1} \operatorname{sign} Q_1 - \left(2 |Q_1| + \frac{\lambda_1}{8R_{r_1}} \frac{Q_1^2}{S_1 Q'_1} \right) / S_1 \right] - \xi'_T \frac{Q'_1}{2} \operatorname{sign} Q_1 \right\} / \xi_T \quad (8)$$

Избыточное давление в полости 2:

$$p_2 = -a Q', \quad (9)$$

где a – коэффициент сопротивления паковки, Q' – расход среды через паковку, приходящийся на единицу ее высоты.

При этом

$$Q' = Q'_1 + Q'_2, \quad (10)$$

$$Q_2'' = \left[\rho \left(\frac{2Q_2}{S_2^2} Q'_2 + \frac{\lambda_2}{8R_{r_2}} \frac{Q_2}{S_2^3} |Q_2| + g \operatorname{sign} g \right) - a'(Q'_1 + Q'_2) \right] / a - Q_1'. \quad (12)$$

Уравнения (8) и (12) образуют замкнутую систему относительно неизвестных Q_1 , Q_2 , представляющих транзитные расходы среды в полостях 1 и 2.

Граничные условия при заглушенном верхнем конце перфорированной трубы имеют вид:

$$Q_2(0)=0; Q_2(h)=0; Q_1(0)=Q_0; Q_1(h)=0, \quad (13)$$

где h – высота столба паковок.

Если в полости 2 имеются дроссельные шайбы, то в местах их установки накладываются внутренние краевые условия:

$$\begin{aligned} a(x-0)[Q'_1(x-0)+Q'_2(x-0)] - \xi_{\Gamma} \rho \frac{[Q'_1(x-0)]^2}{8\pi S_1} \operatorname{sign} Q_1 = \\ = a(x+0)[Q'_1(x+0)+Q'_2(x+0)] - \xi_{\Gamma} \rho \frac{[Q'_1(x+0)]^2}{8\pi S_1} \operatorname{sign} Q_1, \quad (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q'_1(x-0) &= \sqrt{Q'_1(x+0)|Q'_1(x+0)| + \xi_{ш_1} \frac{4\pi Q_2(x)|Q_2(x)|S_1}{\xi_{\Gamma} S_2^2} \operatorname{sign} Q_1}, \\ Q'_2(x-0) &= \left[a(x+0)[Q'_1(x+0)+Q'_2(x+0)] - \xi_{ш_1} \rho \frac{|Q_2(x)|Q_2(x)}{2S_2^2} \right] / a(x-0) - Q'_1(x-0). \end{aligned}$$

Уравнения (8) и (12), приведенные к системе четырех ДУ первого порядка, с данными краевыми условиями решались программой DRYING1.

так как приращение расхода среды для полости 2 равно алгебраической сумме соответствующих величин, втекающих в полость 2 через перфорацию центральной трубы и вытекающих через паковку.

Подставим (10) в (9) и, считая $a = a(x)$, дифференцируем по x :

$$p_2' = -a(Q''_1 + Q''_2) - a'(Q'_1 + Q'_2). \quad (11)$$

Из (6) и (11) выразим Q''_2 :

$$\begin{aligned} a(x-0)[Q'_1(x-0)+Q'_2(x-0)] = \\ = a(x+0)[Q'_1(x+0)+Q'_2(x+0)] - \\ - \xi_{ш_1} \rho \frac{[Q_2(x)]^2}{2S_2^2} \operatorname{sign} Q_2. \quad (15) \end{aligned}$$

Уравнение (14) выражает факт отсутствия скачка давления в полости 1 при переходе от сечения столба паковок с координатой $x-0$ к сечению $x+0$; уравнение (15) – наличие скачка давления в полости 2 за счет потерь на дроссельной шайбе.

Данные уравнения преобразуются к виду, удобному для вычислений в ходе интегрирования системы ДУ, когда по значениям $Q'_1(x+0)$, $Q'_2(x+0)$ вычисляются $Q'_1(x-0)$, $Q'_2(x-0)$:

Расчеты показывают, что наличие центральной трубы может обеспечить практически равномерное распределение среды: при коэффициенте сопротивления перфо-

рации трубы $\xi_T=10^5$ и коэффициенте сопротивления паковок $a=10 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм}^3)$ неравномерность фильтрации воздуха через столб из 10 паковок при прямой, обратной и двусторонней циркуляции составляет соответственно 0,55; 1,2 и 0,33% (даже при отсутствии дроссельных шайб), в то время как для серийного стержня аппаратов АКД с одноплостным движением среды неравномерность фильтрации в тех же условиях (но при $\xi_T=0$) находится на уровне 94; 155 и 23%. Это связано как с увеличением общего гидравлического сопротивления столба за счет перфорированной трубы, так и с некоторым перераспределением среды в полости 2 в осевом направлении.

Однако на практике данное преимущество не является решающим, так как на первое место выходит неравномерность фильтрации, обусловленная различным сопротивлением отдельных паковок, в том числе из-за неравномерного распределения влажности паковок по высоте столба перед сушкой.

Рассмотрим случай, когда паковки имеют разброс по проницаемости. Для снижения разницы в скоростях фильтрации среды через паковки с разной проницаемостью также необходимо увеличивать коэффициент сопротивления перфорации центральной трубы. При этом для исключения перераспределения среды в пользу паковок с большей проницаемостью желательно сделать течение среды в полости 2 чисто радиальным: с $Q_2 = 0$, $Q'_2 = 0$.

Очевидно, это возможно при $\xi_{ш} \rightarrow \infty$, что предполагает установку между паковками разделительных шайб при формировании партии [3] и повышает трудоемкость данного процесса.

Рассматривая данный случай как предельный, определим из уравнения (14) зависимость отношения расходов через две паковки (соответственно Q'_i и Q'_j) с сопротивлениями a_i и a_j от коэффициента сопротивления перфорации центральной трубы ξ_T .

Из уравнения (14) получим:

$$\frac{Q'_j}{Q'_i} = \frac{b+1}{b + \frac{a_j}{a_i}};$$

где $b = \frac{\xi_T \rho Q_0}{4 \pi S_1 a_i h}$; Q_0 – расход среды, подаваемый в столб паковок.

Зависимость $\frac{Q'_j}{Q'_i}$ от ξ_T при $a_i = 20 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм}^3)$; $a_j=10 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм}^3)$; $Q_0=40 \text{ л}/\text{с}$; $h=15 \text{ дм}$ представлена на рис.2 (зависимость соотношения расходов через паковки с двукратной разницей по проницаемости от коэффициента сопротивления перфорации центральной трубы).

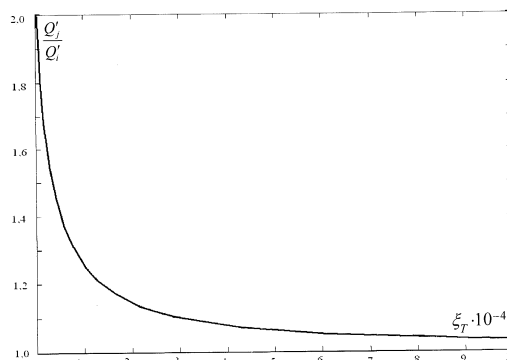


Рис. 2

Видно, что при двукратной разнице в проницаемости паковок значение $\xi_T = 50000$ обеспечило бы разницу в расходах воздуха через них не более 7%.

Для насадки паковок на стержни носителя без разделительных шайб необходим зазор между внутренней поверхностью патрона и дроссельной шайбой, что ограничивает $\xi_{ш}$. Оценим влияние $\xi_{ш}$ на неравномерность фильтрации (определяемую отношением максимального и минимального расходов через паковки столба).

Результаты расчетов по уравнениям (8),(12) с краевыми условиями (13)...(15) для случая, когда одна из паковок в столбе имеет коэффициент сопротивления $a=20 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм}^3)$, а остальные – $10 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{дм}^3)$, при $\xi_T = 10^5$; $Q_0=40 \text{ л}/\text{с}$; $h=15 \text{ дм}$ представлены на рис. 3 (зависимость соотношения максимального и минимального расходов

через пакетки столба от коэффициента сопротивления дроссельных шайб).

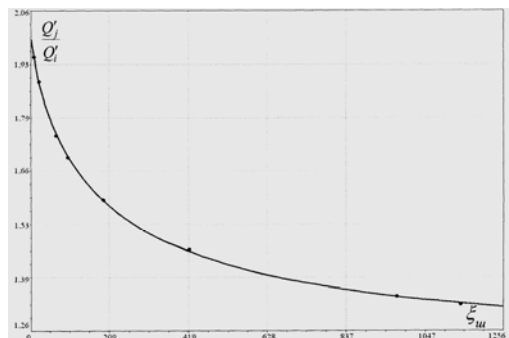


Рис. 3

Очевидно, что для снижения неравномерности фильтрации со 100% хотя бы до уровня 30% необходимо обеспечить $\xi_{ш} \geq 1200$.

Оценим необходимую величину зазора между внутренней поверхностью патрона и дроссельной шайбой, рассчитывая $\xi_{ш}$ по формуле [4]:

$$\xi = \left(1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{F_0}{F}}} \right)^2 \left(\frac{F}{F_0} - 1 \right)^2,$$

где F – площадь проходного сечения (S_2);
 F_0 – площадь зазора.

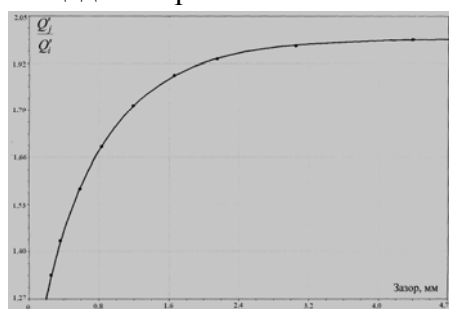


Рис. 4

Согласно рис.4 (зависимость соотношения максимального и минимального расходов через пакетки столба от зазора между патроном и дроссельной шайбой при $\xi_T = 10^5$) для получения неравномерности не более 30% необходим зазор порядка 0,2 мм на сторону, что является вполне реальным при использовании полипропиленовых армированных патронов, весьма жестких и не склонных к пластической деформации.

новых армированных патронов, весьма жестких и не склонных к пластической деформации.

Для бывших в эксплуатации металлических патронов ММ-150-1,3-12А при зазоре менее 1 мм можно ожидать трудностей при насадке и снятии их со стержня с дроссельными шайбами, благодаря чему снижение неравномерности фильтрации возможно лишь до 74%, что является малоэффективным.

Расчеты показывают, что при увеличении ξ_T в два раза при зазоре 0,2 мм неравномерность снижается лишь на 2% абс., а при больших зазорах влияние ξ_T на неравномерность фильтрации практически исчезает из-за роста утечек среды через данный зазор.

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель движения рабочих сред через столб пакеток с учетом течения через перфорацию центральной трубы при двуполостном движении среды.

2. Теоретически показано, что для стержня с центральной перфорированной трубой и дроссельными шайбами при использовании существующих патронов возможно снижение неравномерности фильтрации до уровня 30% (даже при двукратной разнице пакеток по проницаемости).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. №1313924 СССР. Пакеткодержатель устройства для жидкостной обработки и сушки текстильного материала / Киселев Н.В. – Оpubл. 1987. Бюл. №34.

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

3. Патент ФРГ № 1460270, 1969.

4. Рабинович Б.З. Гидравлика. – М.: Физматгиз, 1963.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 22.01.07.