

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКЕ В ЗОНЕ ОЧИСТКИ ЛЬНОВОЛОКНА

С.Ю. КАПУСТИН, В.Д. ФРОЛОВ, Ф.Р. КАХРАМАНОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

При исследовании на лентоформирующей машине в составе поточной линии ПЛ-1-КЛ [1] теневыми методами были обнаружены вихри (рис.1), возникающие вокруг элементов колосниковой решетки.

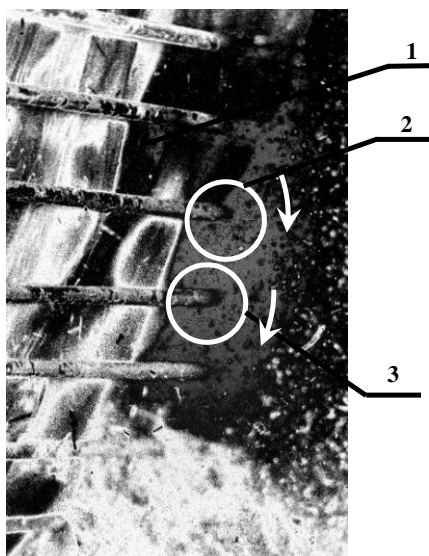


Рис. 1

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – главный барабан лентоформи-

рующей машины, 2 – первый вихрь, образующийся у элемента колосниковой решетки, 3 – второй вихрь, образующийся у элемента колосниковой решетки.

При этом делаем следующие допущения. Рассматриваем поток как несжимаемый с присоединенными вихрями. Считаем, что движение воздушного потока при обтекании элемента колосниковой решетки в форме цилиндра является циркуляционно- поступательным.

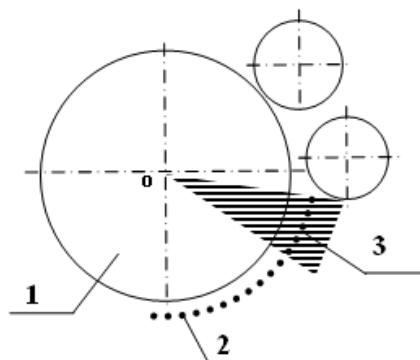


Рис. 2

Интенсивные вихри возникают в зоне 3 (рис. 2), поэтому исследования проводим в данном случае в зоне 3. На рис. 2 приняты следующие обозначения: 1 – главный барабан лентоформирующей машины, 2 – колосниковая решетка, установленная под лентоформирующей машиной, 3 – рассматриваемая зона.

Рассмотрим элемент колосниковой решетки под лентоформирующей машиной как круговой цилиндр единичного радиуса.

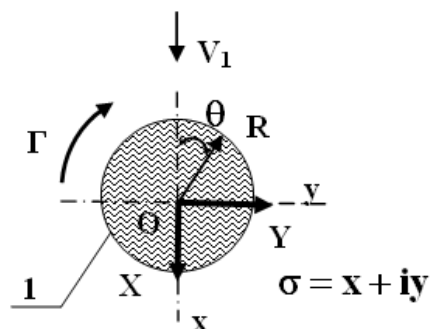


Рис. 3

Комплексный потенциал при обтекании кругового цилиндра единичного радиуса несжимаемым циркуляционно-поступательным потоком в плоскости равен $\sigma = x + iy$ (рис. 3). На рис. 3 обозначим: 1 – элемент колосниковой решетки.

Запишем комплексный потенциал в виде

$$W(z) = Vz - \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z. \quad (1)$$

Каждое слагаемое в этом уравнении представляет собой комплексный потенциал более простого течения:

$$W_1 = Vz; \quad W_2 = -\frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z, \quad (2)$$

где W_1 – поступательное течение; W_2 – циркуляционное течение.

Рассмотрим течение, характеризуемое комплексным потенциалом: $W_1 = \phi_1 + i\psi_1$. Учитывая, что $z = x + iy$, запишем для этого потенциала:

$$W_1 = \phi_1 + i\psi_1 = Vz(x + iy). \quad (3)$$

Следовательно,

$$\phi_1 = Vx, \quad \psi_1 = Vy.$$

Уравнение линий тока для этого течения $\psi_1 = Vy = \text{const}$, то есть комплексный потенциал $W_1 = Vz$ характеризует поступательный поток; скорость V направлена вдоль оси Ox .

Комплексный потенциал $W_2 = -\frac{\Gamma}{2\pi i} \ln z$ определяет циркуляционное течение. Для нахождения соответствующего потенциала скоростей и функций тока производим замену $\ln z = r e^{i\theta}$ в выражении W_2 :

$$W_2 = \phi_2 + i\psi_2 = \frac{\Gamma}{2\pi} (\ln r + i\theta). \quad (4)$$

Таким образом,

$$\phi_2 = -\frac{\Gamma\theta}{2\pi}, \quad \psi_2 = \frac{\Gamma \ln r}{2\pi}. \quad (5)$$

Рассмотрим суммарное результирующее течение. Складывая соответствующие выражения для потенциалов скоростей и функций тока, получим:

$$\phi = Vr \cos \theta - \frac{\Gamma\theta}{2\pi}; \quad (6)$$

$$\psi = Vr \sin \theta + \frac{\Gamma \ln r}{2\pi}. \quad (7)$$

На следующем этапе исследований рассмотрим сорную частицу (рис.4), находящуюся в точке А с координатами x, y в зоне наибольшего технологического воздействия, и определим в ней скорости, вызываемые вихрями, образующимися при движении технологического потока, возникающего у главного барабана лентоформирующей машины при движении через колосниковую решетку (рис. 1).

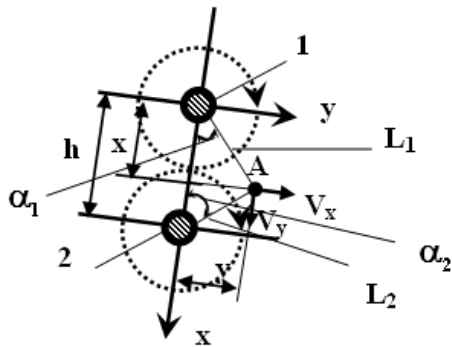


Рис. 4

На рис. 4 представлены вихри с рис. 1. и приняты следующие обозначения: 1 – первый вихрь, образующийся у элемента колосниковой решетки, 2 – второй вихрь, образующийся у элемента колосниковой решетки.

Первый вихрь сообщает этой точке скорости:

$$V_y^{(1)} = \frac{\Gamma \sin \alpha_1}{2\pi l_1} = \frac{\Gamma(y/l_1)}{2\pi l_1} = \frac{\Gamma y}{2\pi l_1^2} = \frac{\Gamma y}{2\pi(x^2 + y^2)}, \quad (8)$$

$$V_x^{(1)} = -\frac{\Gamma \cos \alpha_1}{2\pi l_1} = -\frac{\Gamma(x/l_1)}{2\pi l_1} = -\frac{\Gamma x}{2\pi l_1^2} = -\frac{\Gamma x}{2\pi(x^2 + y^2)}. \quad (9)$$

Соответствующие значения этих ско-

ростей, индуцируемых вторым вихрем:

$$V_x^{(2)} = \frac{\Gamma \sin \alpha_2}{2\pi l_2} = \frac{\Gamma(y/l_2)}{2\pi l_2} = \frac{\Gamma y}{2\pi l_2^2} = \frac{\Gamma y}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]}, \quad (10)$$

$$V_y^{(2)} = \frac{\Gamma \cos \alpha_2}{2\pi l_2} = \frac{\Gamma[(h-x)/l_2]}{2\pi l_2} = \frac{\Gamma(h-x)}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]}. \quad (11)$$

Полные составляющие:

$$V_x = V_x^{(1)} + V_x^{(2)} = \frac{\Gamma y}{2\pi(x^2 + y^2)} + \frac{\Gamma y}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]}, \quad (12)$$

$$V_y = V_y^{(1)} + V_y^{(2)} = \frac{\Gamma x}{2\pi(x^2 + y^2)} + \frac{\Gamma x}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]}. \quad (13)$$

Известно, что дифференциал потенциальной функции

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy = V_x dx + V_y dy, \quad (14)$$

поэтому

$$d\varphi = \left\{ \frac{\Gamma y}{2\pi(x^2 + y^2)} + \frac{\Gamma y}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]} \right\} dx + \left\{ -\frac{\Gamma x}{2\pi(x^2 + y^2)} + \frac{\Gamma x}{2\pi[(h-x)^2 + y^2]} \right\} dy. \quad (15)$$

Это выражение перепишем в виде:

$$d\varphi = \frac{\Gamma}{2\pi} \left[-\left(\frac{\partial}{\partial x} \arctg \frac{y}{x}\right) dx - \left(\frac{\partial}{\partial y} \arctg \frac{y}{x}\right) dy + \left(\frac{\partial}{\partial x} \arctg \frac{y}{h-x}\right) dx + \left(\frac{\partial}{\partial y} \arctg \frac{y}{h-x}\right) dy \right] = \frac{\Gamma}{2\pi} \left[-d\left(\arctg \frac{y}{x}\right) + d\left(\arctg \frac{y}{h-x}\right) \right]. \quad (16)$$

Интегрируя, получим для потенциала скоростей:

$$\varphi = \frac{\Gamma}{2\pi} \left(-\arctg \frac{y}{x} + \arctg \frac{y}{h-x} \right). \quad (17)$$

Нетрудно заметить, что эта величина определяется в виде суммы потенциалов скоростей:

от первого вихря

$$\varphi_1 = -\frac{\Gamma}{2\pi} \arctg \frac{y}{x}, \quad (18)$$

и от второго вихря

$$\varphi_2 = -\frac{\Gamma}{2\pi} \arctg \frac{y}{h-x}. \quad (19)$$

Воспользуемся этим свойством наложения (суперпозиции) несжимаемых потоков, чтобы определить суммарную функцию тока:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2, \quad (20)$$

где ψ_1, ψ_2 – функции тока соответственно для первого и второго вихрей.

Функцию ψ_1 найдем следующим образом. Из (17), следует, что

$$\varphi_1 = -\frac{\Gamma}{2\pi} \arctg \frac{y}{x} = -\frac{\Gamma}{2\pi} \alpha_1, \quad (21)$$

откуда полная скорость:

$$V_s = \frac{\partial \varphi_1}{\partial s} = \frac{1}{\ell_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial \alpha_1} = -\frac{\Gamma}{2\pi \ell_1}. \quad (22)$$

Представленная величина равна со-

ставляющей скорости, нормальной к радиусу-вектору точки А.

Радиальная компонента скорости в этой точке $V_r = 0$. Таким образом, для функции тока запишем:

$$\frac{\partial \psi_1}{\partial \ell_1} = -V_s = \frac{\Gamma}{2\pi \ell_1}, \quad (23)$$

откуда

$$\psi_1 = \frac{\Gamma \ln \ell_1}{2\pi}. \quad (24)$$

Соответственно для второго вихря образующегося на следующем колоснике, функция тока равна:

$$\psi_2 = \frac{\Gamma \ln \ell_2}{2\pi}. \quad (25)$$

Таким образом, суммарная функция тока:

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = \frac{\Gamma}{2\pi} (\ln \ell_1 - \ln \ell_2) = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln \frac{\ell_1}{\ell_2}, \quad (26)$$

или

$$\psi = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{(h-x)^2 + y^2}}. \quad (27)$$

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают, что вихревые воздушно-пылевые потоки, образующиеся на колосниковой решетке, являются причиной неоптимального технологического процесса, происходящего на поточной линии. Данная методика дает возможность управлять поведе-

нием волокна около колосниковой решетки с учетом пульсаций воздушного потока и проектировать новые устройства для очистки волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Капустин С.Ю.* Усовершенствование технологий в процессе очистки длинноволокнистых материалов на лентоформирующей машине в составе

поточной линии ПЛ-I-КЛ: Дис...канд. техн. наук. – Иваново, 1992.

2. *Кочин И.Е., Кобель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. – Часть 1/ Под ред. И.А. Кобеля. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1948.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 04.02.09.
