

## ДВИЖЕНИЕ ПЫЛИНКИ В АСПИРАЦИОННОМ УСТРОЙСТВЕ ШАРОШКИ

Ст. преп. Потоцкий В.Н. (ВГТУ)

На рисунке 1 показано распределение скоростей воздушного потока, увлеченного шарошкой:

$$W_{xy} = V_0 - \frac{V_0}{\Delta} X_1, \quad (1)$$

где  $V_0$  - окружная скорость шарошки. Там же показано параболическое распределение скоростей всасывающего потока, нормального к плоскости рисунка (показанного «улетающими» стрелками):

$$W_z = 4W_{max} \frac{X_1}{\Delta} \left(1 - \frac{X_1}{\Delta}\right), \quad (2)$$

где наибольшая скорость [1]  $W_{max} = 1.5 \cdot W_a$  ( $W_a$  - средняя скорость всасывающего потока).

На рисунке 2 показана проекция траектории пылинки на плоскость рисунка. Рассмотрим заштрихованный на рисунке треугольник и найдем связь между координатами  $X$  и  $X_1$  и проекции скорости (1):

$$X_1 = \sqrt{x^2 + (r-y)^2} - r = r \left[ \sqrt{\left(\frac{x}{r}\right)^2 + \left(1 - \frac{y}{r}\right)^2} - 1 \right]; \quad (3)$$

$$W_x = W_{xy} \cos \alpha, \quad W_y = W_{xy} \sin \alpha, \quad (4)$$

где

$$\cos \alpha = \frac{r-y}{r+X_1}, \quad \sin \alpha = \frac{x}{r+X_1}, \quad (5)$$

Уравнение движения пылинки [1] может быть преобразовано к виду:

$$V_x \frac{d\vec{V}}{dx} = \frac{c}{l} K_w U^2 \left( -\frac{\vec{U}}{U} \right) + \vec{g}, \quad (6)$$

где  $\vec{V}$  - скорость пылинки,  $\vec{U} = \vec{V} - \vec{W}$  - ее относительная скорость в потоке воздуха,  $\vec{g}$  - ускорение свободного падения;  $K_w$  - коэффициент сопротивления эквивалентного шара, зависящий [2] от числа Рейнольдса

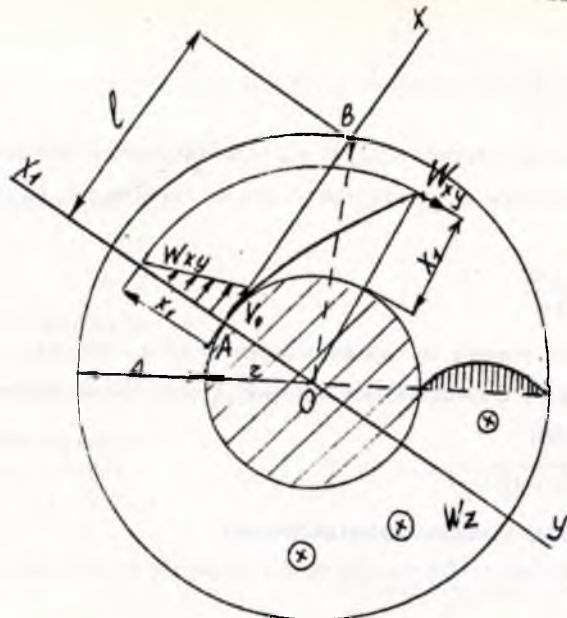


Рисунок 1. Распределение скоростей увлеченного потока

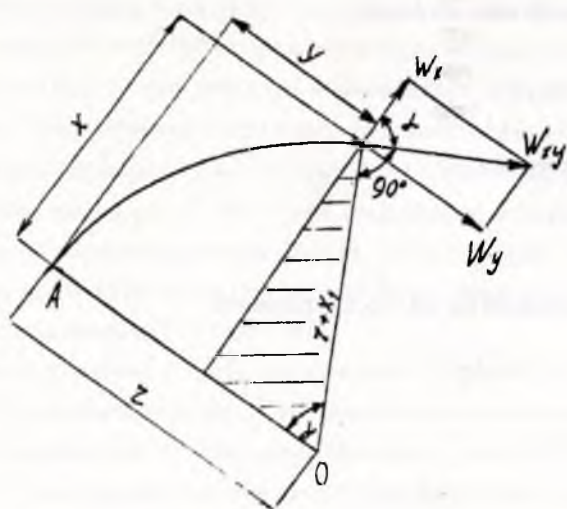


Рисунок 2. Проекция траектории пылинки.

$$Re = \frac{U d_{\text{экв}}}{\nu} \quad (7)$$

( $\nu$  - кинетическая вязкость воздуха,  $d_{\text{экв}} = 1.5L/\varphi$  - диаметр эквивалентного шара,  $L$  - длина пылинки,  $\varphi$  - коэффициент формы пылинки [2]); безразмерная константа

$$C = \frac{\varphi \gamma l S}{2m} \quad (8)$$

( $\gamma$  - плотность воздуха,  $m$  - масса пылинки,  $S = \pi d^2/4$  - площадь миделева сечения,  $d$  - диаметр цилиндрической пылинки), длина отрезка касательной (рис. 1)

AB (см.  $\Delta OAB$ )

$$l = \sqrt{(r + \Delta)^2 - r^2}. \quad (9)$$

Переходя к безразмерным величинам

$$v = \frac{V}{V_0}, \quad w = \frac{W}{V_0}, \quad u = \frac{U}{V_0};$$

$$x = x/l, \quad x_1 = x_1/l, \quad \eta = y/l, \quad \xi = z/l;$$

$$\delta = \Delta/l, \quad \rho = r/l.$$

уравнение (6) получим в виде

$$v_x \frac{d\vec{v}}{dx} = CK_{\omega} U^2 \left( -\frac{\vec{U}}{U} \right) + \vec{a},$$

где векторная константа [1]

$$\vec{a} = \frac{\vec{g}^1}{V_0^2}, \quad (10)$$

или - в проекциях на оси  $x, y, z$  - уравнения

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dx} = -CK_{\omega} U \frac{v_x - w_x}{v_x}, \\ \frac{dv_y}{dx} = -CK_{\omega} U \frac{v_y - w_y}{v_x}, \\ \frac{dv_z}{dx} = -CK_{\omega} U \frac{v_z - w_z}{v_x} - \frac{a}{v_x}, \end{cases} \quad (11)$$

где модуль безразмерной относительной скорости

$$U = \sqrt{(v_x - w_x)^2 + (v_y - w_y)^2 + (v_z - w_z)^2};$$

безразмерные проекции скорости воздушного потока (4) и (2)

$$w_x = w_{xy} \cos \alpha, \quad w_y = w_{xy} \sin \alpha, \quad w_z = 6w_B \frac{X_1}{\delta} \left( 1 - \frac{X_1}{\delta} \right), \quad (12)$$

безразмерная скорость (1)

$$w_{xy} = 1 - \frac{X_1}{\delta}, \quad \frac{X_1}{\delta} = \frac{\rho}{\delta} \left( \frac{X_1}{\rho} \right).$$

формула (5) приобретает вид

$$\cos \alpha = \frac{1 - \eta/\rho}{1 + X_1/\rho}, \quad \sin \alpha = \frac{X/\rho}{1 + X_1/\rho}.$$

а формула (3) дает выражение

$$\frac{X_1}{\rho} = \sqrt{\left( \frac{X}{\rho} \right)^2 + \left( 1 - \frac{\eta}{\rho} \right)^2} - 1.$$

Траектория частицы (в безразмерных координатах) получается из уравнений [1]

$$\frac{d\eta}{dX} = \frac{v_y}{v_x}, \quad \frac{d\xi}{dX} = \frac{v_z}{v_x}. \quad (13)$$

Принимая размеры пылинки ( $d=1$  мм,  $L=3$  мм), коэффициент формы ( $\varphi=2$  [2]), массу пылинки ( $m=150 \cdot 10^{-9}$  кг); среднюю скорость воздуха во всасывающей трубе  $\varnothing 20$  мм ( $W_{mp}=20$  м/с), плотность и кинетическую вязкость воздуха ( $\gamma=1$  кг/м,  $\nu=15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с); величину зазора между шарошкой и улиткой, радиус и окружную скорость шарошки ( $\Delta=2$  мм,  $r=7.5$  мм,  $V_0=7.5$  м/с), найдем длину (9) АВ ( $\approx 6$  мм), число Рейнольдса (7) -  $Re=1130U$ , коэффициент в последней из формул (12) -  $6w_B=95$ , безразмерные константы (8, 10) в уравнениях (11) -  $C=0.032$ ,  $a=0.001$ ; при числах Рейнольдса (14) лобовое сопротивление  $K_{ш}=0.47$  [2], т.е. коэффициент в уравнениях (11)  $CK_{ш}=0.015$ .

Решение уравнений (11, 13) при начальных условиях  $V_x=1$ ,  $V_y=0$ ,  $V_z=0$ ,  $\alpha=0$ ,  $\eta=0$ ,  $\xi=0$  представлено на рис. 3, 4. Оказывается, что проекция траектории частицы на плоскость рис. 1, практически, совпадает с прямой АВ. Видно в то же время, что перемещение пылинки вдоль образующей шарошки превышает ее ширину  $H=5$  мм ( $h=H/l=0.92$ ).

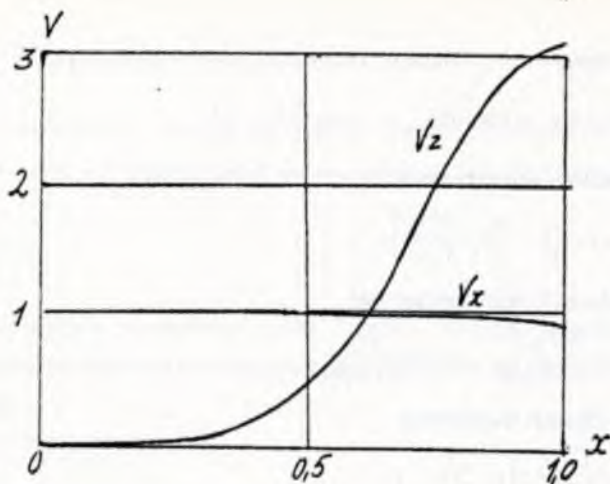


Рисунок 3. Составляющие скорости частицы.

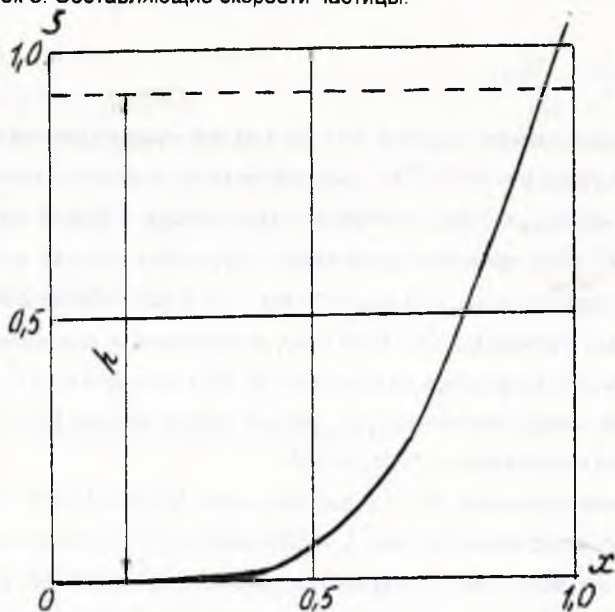


Рисунок 4. Траектория частицы.

Из рис. 3 следует, что проекция скорости частицы  $V_x$  изменяется незначительно. Полагая в уравнениях (11)  $V_x=1=\text{const}$ ,  $V_y=0$ , получим приближенные уравнения задачи

$$\frac{dv_z}{dx} = CK_w (v_z - w_z)^2 - a.$$

$$\frac{d\zeta}{dx} = v_z.$$

в решении которых наибольшая скорость отличается от соответствующей скорости в решении уравнений (11, 13) на 2 %, наибольшее смещение - на 6 %.

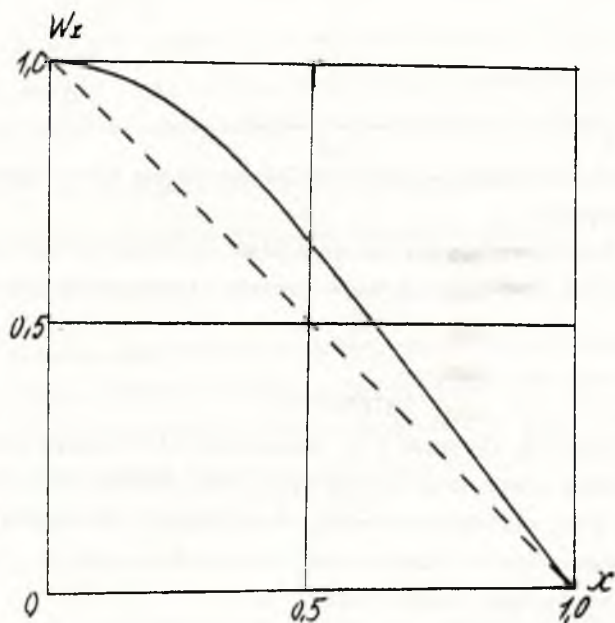


Рисунок 5. Распределение скоростей увлеченного потока вдоль прямой АВ (см. рисунок 1).

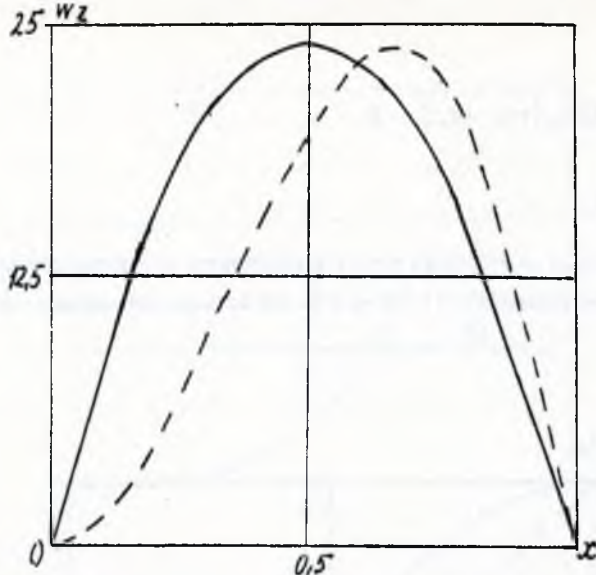


Рисунок 6. Распределение скоростей всасывающего потока вдоль прямой АВ (см. рисунок 1).

На рис. 5 и 6 представлены распределения скоростей (12) вдоль проекции траектории АВ, штриховыми кривыми показаны распределения работ [1, 3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев Г.Н., Потоцкий В.Н., Ольшанский В.И. Пылевая частица в кольцевом зазоре аспирационного устройства.-Витебск: ВГТУ, 1997.
2. Буянов А.А. и др. Аспирационные и пылеуборочные установки обувных и кожгалантерейных предприятий. Справочное пособие.-М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982 г.- 184 с.