

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ПЫЛИ ВО ВСАСЫВАЮЩЕМ ПОТОКЕ ШАРОШКИ

В.Н. Потоцкий, Г.Н. Федосеев, С.Г. Ковчур

(ВГТУ, г. Витебск)

Процессы изготовления обуви состоят из ряда технологических операций, при выполнении которых образуется пыль и газовыделения. Разработка оптимальной конструкции аспирационных устройств для улавливания и удаления кожаной пыли при фрезеровании, взъерошивании деталей верха обуви требует исследований аэродинамических процессов во всасывающем потоке.

На рисунке 1 показана прямолинейная [1] горизонтальная проекция AM траектории AM цилиндрической пылинки M в кольцевом зазоре аспирационного устройства шарошки. Распределение скоростей V_{xy} воздушного потока, увлеченного вращающейся шарошкой, предполагается параболическим:

$$V_{xy} = V_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{X_1}{\Delta} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

Скорости всасывающего потока \bar{U}_z , показанные на рис. 1 "улетающими" стрелками, предполагаются распределенными по ширине зазора Δ по параболическому закону [2]:

$$U_z = 4 \cdot U_{\max} \cdot \frac{X_1}{\Delta} \cdot \left(1 - \frac{X_1}{\Delta} \right). \quad (2)$$

Вспомогательная координата X_1 в формулах (1-2) распределений скоростей увлеченного и всасывающего потоков дается формулой - см. на рисунке 1 Δ OAM:

$$X_1 = \sqrt{r^2 + x^2} - r. \quad (3)$$

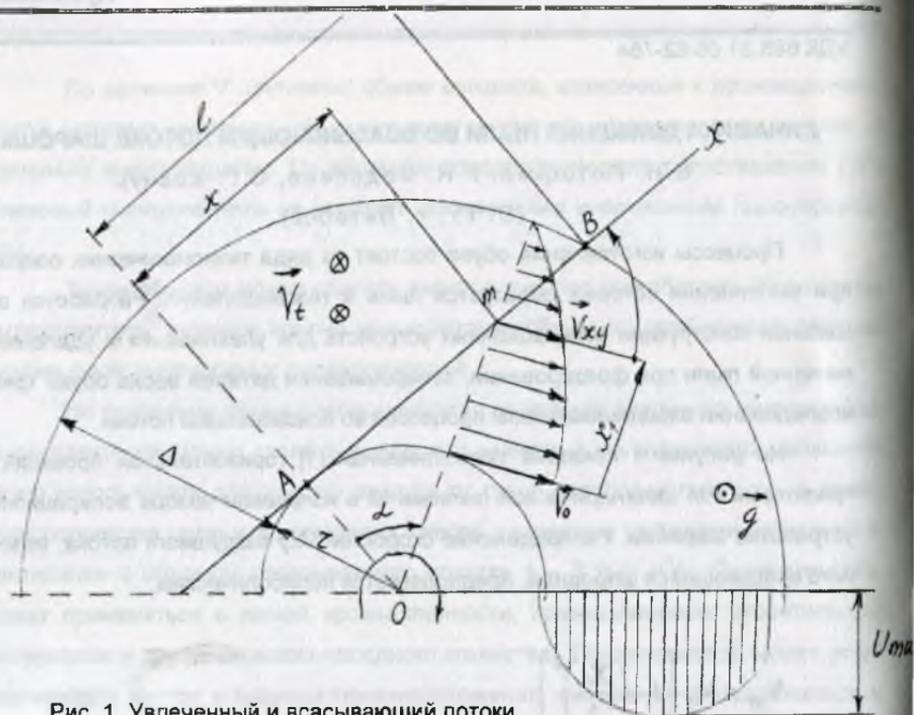


Рис. 1. Увлеченный и всасывающий потоки.

Значение максимума в распределении (2) находится из равенства (3), определяющего расход воздуха через щель аспирационного устройства:

$$U_{\max} = \frac{3}{2} \cdot U_B, \quad (4)$$

где U_B - средняя скорость поступающего в щель воздуха.

Подстановка значения (4) в формулу (2) приводит к выражению

$$U_z = 6 \cdot U_B \cdot \frac{x_1}{\Delta} \cdot \left(1 - \frac{x_1}{\Delta}\right), \quad (5)$$

Относительная скорость пылинки

$$\bar{W} = \bar{V} - \bar{U}, \quad (6)$$

где абсолютная скорость воздуха \bar{U} представляется (рис. 2) в плоском движении пылинки горизонтальной проекцией (рис. 1)

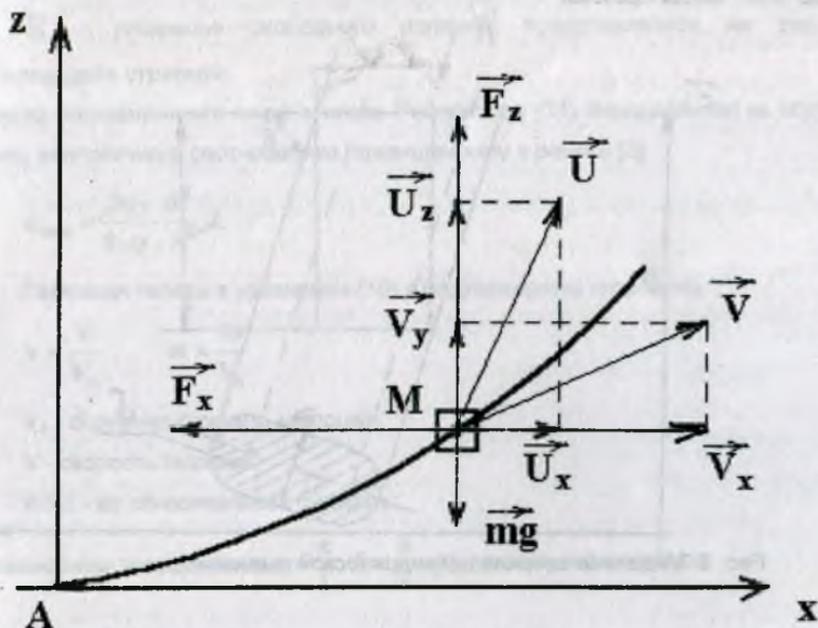


Рис. 2. Скорости пылинки и воздуха; силы, действующие на пылинку.

$$U_x = V_{xy} \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

- скорость дается формулой (1) - и вертикальной проекцией U_z (5); направляющий косинус в формуле (7) - см. рис. 1.

$$\cos \alpha = \frac{r}{r+x} \quad (8)$$

Модуль относительной скорости (6)

$$W = \sqrt{(V_x - U_x)^2 + (V_z - U_z)^2} \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение движения пылинки имеет вид

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} = -K \cdot \frac{\gamma \cdot W^2}{2} \cdot S \cdot \frac{\bar{W}}{W} + \bar{m}g, \quad (10)$$

или [2]

$$V_x \frac{d\bar{V}}{dt} = \frac{C}{l} \cdot K_m \cdot W^2 \cdot \left(-\frac{\bar{W}}{W} \right) + \bar{g},$$

где m - масса пылинки,

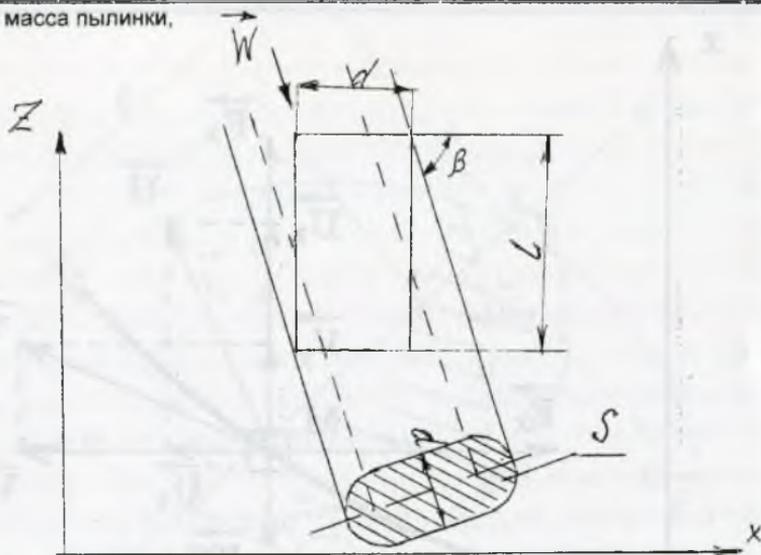


Рис. 3. Миделево сечение цилиндрической пылинки.

$K = \varphi K_{ш}$ - коэффициент [4] лобового сопротивления (φ - коэффициент формы пылинки, $K_{ш}$ - коэффициент лобового сопротивления эквивалентного шара, зависящий от числа Рейнольдса)

$$Re = \frac{Wd_{экв}}{\nu} \quad (11)$$

где W - модуль относительной скорости (9);

ν - кинетическая вязкость воздуха;

$d_{экв}$ - диаметр эквивалентного шара;

γ - плотность воздуха;

S - площадь миделева сечения пылинки, определяемая по формуле (3)

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sin \beta + d \cdot L \cdot \cos \beta \quad (12)$$

где L - длина отрезка АВ (рис. 1);

C - безразмерный коэффициент [2], зависящий от площади (12) и, следовательно, зависящий от угла β ;

g - ускорение свободного падения, представленное на рис. 1 «налетающей» стрелкой;

диаметр эквивалентного шара в числе Рейнольдса (11) определяется из соотношения, аналогичного соотношению, приведенному в работе [3]:

$$d_{\text{экв}} = \frac{3\pi}{8 \cdot \varphi} \cdot \frac{d^2}{S} \cdot L.$$

Переходя теперь в уравнении (10) к безразмерным скоростям

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

где V_0 - окружная скорость шарошки;

V - скорость пылинки;

$W(0)$ - ее относительная скорость;

безразмерным координатам $\chi = \frac{x}{l}$, $\xi = \frac{z}{l}$ и безразмерной константе

$$a = \frac{g \cdot l}{V_0^2}, \quad (13)$$

получим (в проекциях на оси X и Z) систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dv_x}{d\chi} = -C \cdot K_{\text{ш}} \cdot w \cdot \frac{v_x - u_x}{v_x}, \quad (14)$$

$$\frac{dv_z}{d\chi} = -C \cdot K_{\text{ш}} \cdot w \cdot \frac{v_z - u_z}{v_x} - \frac{a}{v_x},$$

где модуль безразмерной относительной скорости (6. 9)

$$w = \sqrt{(v_x - u_x)^2 + (v_z - u_z)^2},$$

проекция безразмерной абсолютной скорости воздуха (7, 5)

$$u_x = v_{xy} \cdot \cos \alpha, \quad u_z = \frac{6u_b \chi_1 (\delta - \chi_1)}{\delta^2}, \quad (15)$$

где введены безразмерная средняя скорость всасывающей струи $u_b = \frac{U_b}{V_0}$, без-

размерная вспомогательная координата (3) $\chi_1 = \sqrt{\rho^2 + \chi^2} - \rho$, безразмерные

константы $\rho = r/l$, $\delta = \Delta/l$ и распределение безразмерных скоростей увлеченного шарошкой потоке (1)

$$v_{xy} = \frac{V_{xy}}{V_0} = 1 - \left(\frac{\chi_1}{\delta} \right)^2,$$

направляющий косинус (8) $\cos \alpha = \frac{\rho}{\rho + \chi_1}$. Безразмерный коэффициент C в урав-

нениях (13), зависящий от площади (12), зависит от угла β (рис. 3) - соответствующий направляющий косинус относительной скорости (6)

$$\cos \beta = \frac{v_x - u_x}{w},$$

коэффициент лобового сопротивления эквивалентного шара, зависящий в общем случае от числа Рейнольдса (11), - при числах Рейнольдса задачи - $K_w \approx 0,47$.

Система уравнений (13) дополняется дифференциальным уравнением

$$\frac{d\xi}{d\chi} = \frac{v_z}{v_x}, \quad (16)$$

дающим траекторию $\xi = \xi(\chi)$.

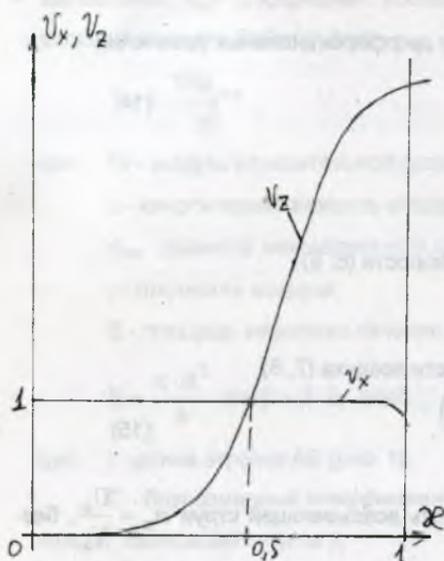


Рис. 4. Проекции скорости пылинки.

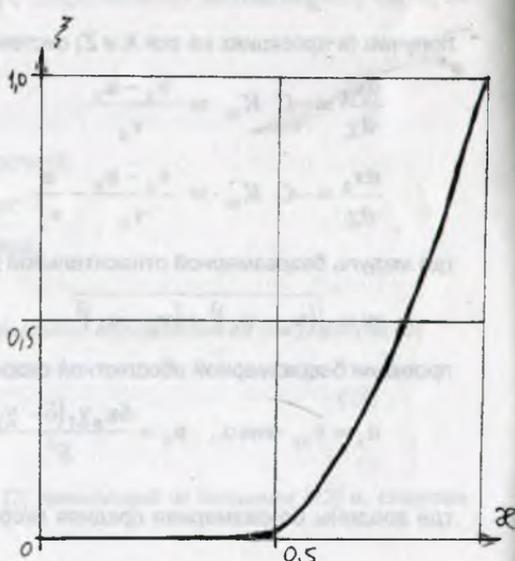


Рис. 5. Траектория пылинки.

Уравнения (14, 16) интегрировались численно. При этом полагалось: размеры пылинки (рис. 3) $d = 1$ мкм, $L = 3$ мкм, масса пылинки $m = 150 \cdot 10^{-9}$ кг, коэффициент формы [4] $\phi \approx 2$, плотность воздуха $\gamma = 1,2$ кг/м³, кинематическая вязкость воздуха $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с, окружная скорость шарошки $V_0 = 7,5$ м/с, средняя скорость воздуха во всасывающей трубе диаметром $d_{\text{тр}} = 20$ мм, $U_{\text{тр}} = 20$ м/с (коэффициент во второй из формул (15) $6U_v = 94,4$), радиус шарошки $r = 7,5$ мм, зазор $\Delta = 2$ мм, длина (рис. 1) $l = 5,8$ мм, безразмерная константа (13) $a = 0,001$. Результаты интегрирования уравнений (14, 16) представлены на рис. 4, 5.

На основании анализа движения пыли во всасывающем потоке шарошки разработаны пылеприемник и система аспирации от машины "Десма" при взъерошивании затяжной кромки обуви, что позволило улучшить санитарно-гигиенические условия труда, значительно уменьшить время на уборку пыли и обслуживание машины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Потоцкий В.Н., Федосеев Г.Н. Криволинейное движение пылинки в увлеченном потоке. Сборник докладов МНТК «Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении». - Витебск: ВГТУ, 1998. - 288 с.
2. Потоцкий В.Н. Движение пылинки в аспирационном устройстве шарошки. Сборник научных трудов «Современные энергосберегающие и экологически безопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности». - Витебск: ВГТУ, 1998. - 292 с.
3. Ковчур С.Г., Федосеев Г.Н., Потоцкий В.Н. Моделирование процесса движения пылевой частицы в аспирационном устройстве при взъерошивании верха обуви. Сборник научных трудов «Современные энергосберегающие и экологически безопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности». - Витебск: ВГТУ, 1998. - 292 с.
4. Буянов А.А. и др. Аспирационные и пылеуборочные установки обувных и кожгалантерейных предприятий. Справочное пособие. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 184 с.