

К РАЗВИТИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
О ДВИЖЕНИИ АЭРОЗОЛЯ В ВИХРЕВОМ ПОТОКЕ

Согласно физической модели, предложенной в работе [1], в вихре-
вом потоке генерируются вихревые нити, вытянутые по параллельным оси
поверхностям. Вихревые нити, двигаясь в потоке, будут формировать ло-
кальные облака с распределением частиц, которые аналогичны закрученному
потоку.

В простейшем случае поле скоростей в вихревой нити может быть
определено согласно модели Ротта [2]:

$$V = -az; \quad W = \frac{\Gamma_{\infty}}{2\pi r} \left(1 - e^{-\frac{Qz^2}{V}}\right); \quad U = 2az, \quad (1)$$

где

$$d = Q/2\pi r_0^2 l_0.$$

При исследовании движения частиц в вихревой нити будем учитывать
силы инерции и аэродинамического сопротивления:

$$\frac{dV'}{dt} - \frac{W'^2}{r} = \frac{3}{4} \frac{|\bar{V} - \bar{V}'|}{D} \frac{\rho}{\rho'} C (V - V'); \quad (2)$$

$$\frac{dW'}{dt} + \frac{V'W'}{r} = \frac{3}{4} \frac{|\bar{V} - \bar{V}'|}{D} \frac{\rho}{\rho'} C (W - W'); \quad (3)$$

$$\frac{dU'}{dt} = g + \frac{3}{4} \frac{|\bar{V} - \bar{V}'|}{D} \frac{\rho}{\rho'} C (U - U') \quad (4)$$

Уравнения (2)-(4) дополняются условиями кинематики:

$$\frac{dz}{dt} = V'; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{W'}{r}; \quad \frac{dx}{dt} = U'. \quad (5)$$

Начальные условия определяются координатами ввода и значениями
составляющих скоростей:

$$t=0: \quad z = z_0; \quad \varphi = \varphi_0; \quad x = x_0; \quad V' = V'_0; \quad W' = W'_0; \quad U' = U'_0. \quad (6)$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от режима
обтекания частиц, будем определять следующим образом:

$$C = \frac{24}{Re} \quad \text{при} \quad Re = \frac{|\bar{V} - \bar{V}'| D}{\nu} < 1;$$

$$C = \frac{24}{Re} + \frac{1}{Re^{1/5}} \quad \text{при} \quad 1 < Re < 10^3;$$

$$C = 0.44 \quad \text{при} \quad Re > 10^3.$$

Учитывая нелинейность уравнений движения, расчет производим численно, предварительно приведя систему уравнений (I)-(5) к безразмерным координатам и параметрам:

$$\bar{r} = \frac{r}{r_b}; \quad \bar{z} = \frac{z}{z_b}; \quad \bar{t} = \frac{t|V_0|}{z_b}; \quad \bar{p} = \frac{p}{p'}; \quad \bar{D} = \frac{D}{z_b}; \quad Re_b = \frac{|V_0|z_b}{\nu}; \quad F_z = \frac{g z_b}{|V_0|^2}; \quad B = \frac{W_0}{|V_0|}.$$

Все составляющие скорости относим к $|V_0|$. Опуская черточки над безразмерными величинами, получим:

$$V = -z; \quad W = \frac{B}{z} (1 - e^{-\frac{z^2 Re_b}{2}}); \quad U = 2z; \quad (7)$$

$$\frac{dV'}{dt} = \frac{W'^2}{z} + \chi (V - V'); \quad (8)$$

$$\frac{dW'}{dt} = -\frac{V'W'}{z} + \chi (W - W'); \quad (9)$$

$$\frac{dU'}{dt} = F_z + \chi (U - U'); \quad (10)$$

$$\frac{dz}{dt} = V'; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{W'}{z}; \quad \frac{dz}{dt} = U', \quad (11)$$

где

$$\chi = \frac{3\rho}{D} \left\{ \frac{6}{D Re_b} + \frac{1}{(D Re_b)^{1/3}} [(V - V')^2 + (W - W')^2 + (U - U')^2]^{1/3} \right\}.$$

Начальные условия (6) в безразмерном виде будут следующими:

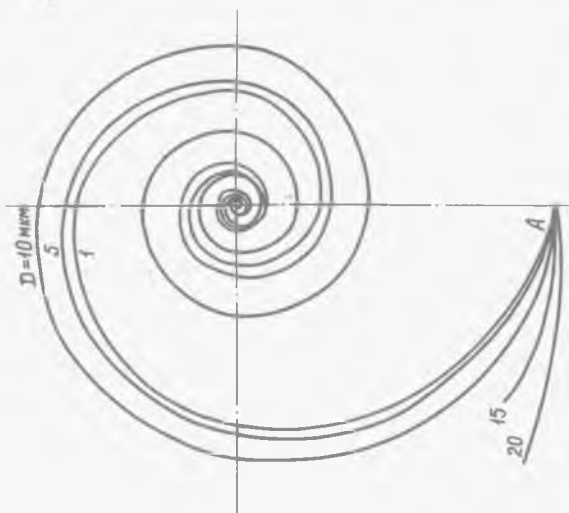
$$t=0; \quad z = \bar{z}_0; \quad \varphi = \bar{\varphi}_0; \quad z = \bar{z}_0; \quad V' = \bar{V}'_0; \quad W' = \bar{W}'_0; \quad U' = \bar{U}'_0. \quad (12)$$

В качестве примера было исследовано движение частиц диаметром от 1 до 20 мкм в вихревой нити диаметром 1 мм в предположении числа $Re_b \approx 1$. На рис. 1 показаны траектории частиц в плоскости поперечного сечения вихревой нити при движении из одной точки $A(z=1)$ с начальной скоростью одинаковой с потоком ($V' = 0, W' = 30$ см/с, $U' = U_{0c}$). На рис. 2 нанесены траектории этих частиц в меридиональной плоскости.

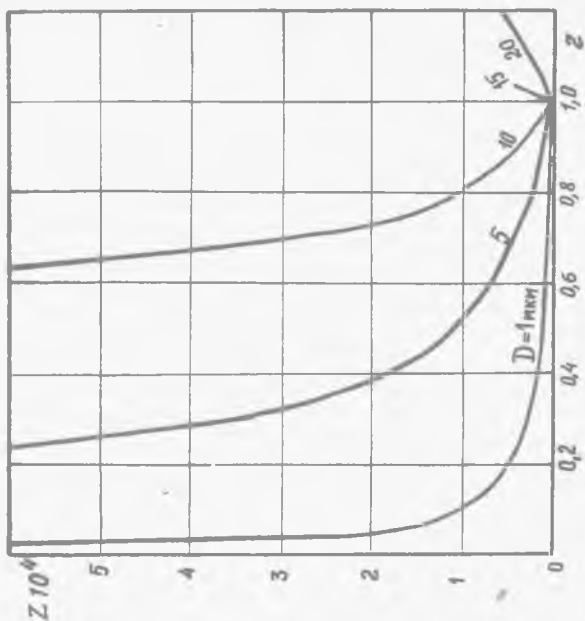
Все частицы, учитывая особенность их движения (к оси вихревой нити; за пределы вихревой нити) можно разделить на две группы.

На рис. 3 показаны скорости движения частиц различных размеров по радиусу вихревой нити. Из графиков следует, что частицы практически мгновенно приобретают скорость, близкую к скорости среды в вихревой нити. По мере приближения к оси радиальная и тангенциальная скорости уменьшаются, а осевая растет. Частицы $D \leq 10$ мкм имеют отрицательную радиальную скорость, а больше 10 мкм положительную, причем тем больше, чем крупнее частица.

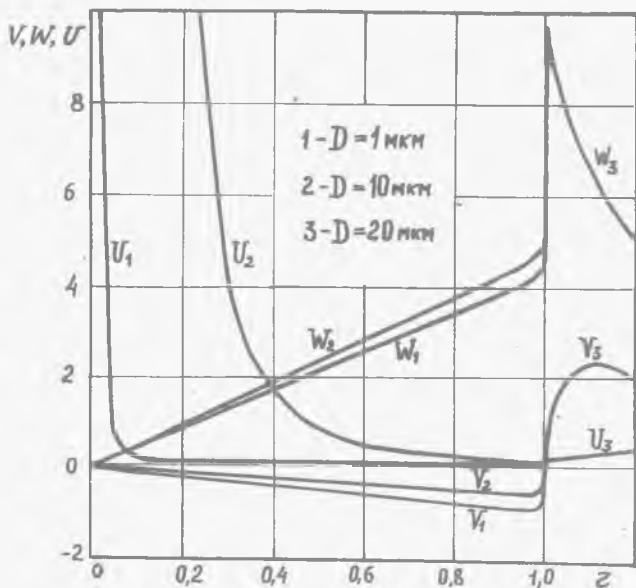
Таким образом, из расчетов следует, что вихревая нить удерживает мелкие частицы до 10 мкм и упорядочивает их по непересекающимся тра-



Р и с. 1. Траектория движения частиц различных размеров в плоскости поперечного сечения вихревой нити



Р и с. 2. Траектория движения частиц в меридиональной плоскости вихревой нити



Р и с. 3. Составляющие скорости движения частиц по радиусу вихревой нити

екториям. Гидродинамическая обстановка в вихревой нити обуславливает движение частиц тем ближе к оси, чем меньше их диаметр. Насыщение приосевой зоны дискретной фазой должно сопровождаться уменьшением тангенциальной скорости в вихревых нитях и снижением внутреннего трения в потоке. В потоках с длинными вихревыми нитями следует ожидать более интенсивного взаимодействия частиц. Это будет способствовать увеличению коагуляции капель и агрегации частиц, а также улучшению монодисперсности аэрозоля. Поскольку частицы, удерживаемые вихревой нитью, будут уноситься из вихревого аппарата, а более крупные задерживаться, то минимальный размер последних будет определяться параметрами вихревых нитей. При экспериментальном исследовании вихревого генератора аэрозолей с обеспечением указанных параметров вихревых нитей минимальный размер улавливаемых частиц составил 12 мкм.

Л и т е р а т у р а

И. Жигула В.А., Коваль В.П. Газодинамика закрученного потока. - Прикладная механика, 1975, т. II, вып. 9, с. 65-72.