

1. Подольский А.А., Калакутский Л.И.
Прибор для измерения дисперсного состава порошкообразных материалов. "Коллоидный журнал" АН СССР, т. 37, вып. 6, 1975, с. 1198.

2. Подольский А.А., Калакутский Л.И.,
Малыгин Н.А. Лабораторный диспергатор пневматического типа.
"Заводская лаборатория", т. 41, 1975, № 10, с. 1227.

УДК 621.319.7.006

Н.А.Малыгин

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ
ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ
В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Движение заряженных аэрозольных частиц в электрическом поле широко используется как в промышленных процессах (электрофльтрация, электроокраска и т.п.), так и в технике измерения параметров аэрозолей. Это обусловило проведение большого числа теоретических и экспериментальных исследований [1] - [3].

В теоретических работах, как правило, рассматривается установившийся процесс движения частиц в постоянном электрическом поле без учета их инерционных свойств. Такое рассмотрение справедливо только для сравнительно мелких частиц при длительном пребывании их в относительно однородном электрическом поле.

В последнее время появились быстродействующие измерительные приборы, в которых используется принцип движения заряженных частиц в пространственно неоднородном [4], [5] или в импульсном электрическом [6] поле. В настоящей статье приведен анализ нестационарности при движении заряженных аэрозольных частиц в электрическом поле плоского конденсатора.

На рис. 1 схематически изображен вертикальный плоский измерительный конденсатор, между пластинами которого под действием приложенного напряжения U создано постоянное электрическое поле напряженностью E . Заряженная аэрозольная частица, движущаяся вместе с потоком с вертикальной скоростью V , входит в конденсатор в точ-

ке O_1 , на расстоянии H от коллекторной пластины и под действием силы электрического поля осаждается на ней в точке O_2 .

Уравнение движения сферической аэрозольной частицы радиусом a в направлении коллекторной пластины под действием электрического поля можно записать в виде [7]:

$$E(t)q - m \frac{dW(t)}{dt} + F_a = 0, \quad (1)$$

где

$$E(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t=0; \\ E, & \text{при } t>0 \end{cases} \quad (2)$$

- напряженность электрического поля в месте нахождения частицы в момент времени t (полагаем, что в момент времени $t=0$ частица влетает в электрическое поле конденсатора);

q - электрический заряд частицы;

$$m = \frac{4}{3} \pi \rho a^3 \quad (3)$$

- масса частицы;

ρ - плотность материала частицы;

$W(t)$ - горизонтальная скорость движения частицы к коллекторной пластине;

$$F_a = -6\pi\eta a W(t) \quad (4)$$

- сила аэродинамического сопротивления, действующая на частицу, согласно закону Стокса;

η - вязкость газа.

Пусть частица приобретает электрический заряд в поле коронного разряда, тогда, согласно формуле Потенье,

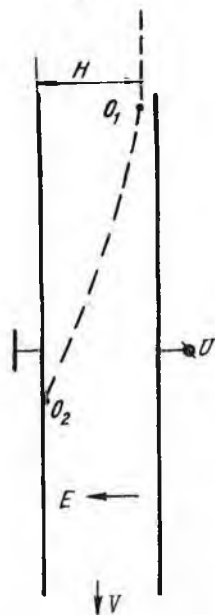
$$q = 4\pi\epsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}\right) E_3 a^2 f(t_3), \quad (5)$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м;

ϵ - диэлектрическая проницаемость частицы;

E_3 - напряженность поля коронного разряда;

$f(t_3)$ - функция, значение которой зависит от времени t_3 пребывания частицы в поле коронного разряда.



Р и с.1. Схема измерительного конденсатора

С учетом уравнений (2) - (5) решение равенства (1) можно записать в виде

$$W(t) = W_{ycm} [1 - \alpha \exp(-t/\tau)], \quad (6)$$

где

$$W_{ycm} = \frac{2\epsilon_0 (1 + 2 \frac{\epsilon-1}{\epsilon+2}) E_3 E f(t_3) a}{3\eta} \quad (7)$$

- установившаяся горизонтальная скорость движения частицы;

$$\alpha = 1 - \frac{W_0}{W_{ycm}}, \quad (8)$$

W_0 - начальная горизонтальная скорость движения частицы;

$$\tau = \frac{2\rho a^2}{9\eta} \quad (9)$$

- постоянная релаксации частицы [6].

В табл. I приведены значения τ для некоторых a и ρ .

Т а б л и ц а I

Плотность	τ , мсек					
	$a = 0,5$	$a = 1$	$a = 5$	$a = 10$	$a = 20$	$a = 50$
$\rho \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$						
1	$3,06 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$	0,307	1,23	4,92	30,7
2	$6,12 \cdot 10^{-3}$	$2,46 \cdot 10^{-2}$	0,614	2,46	9,84	61,4
4	$1,23 \cdot 10^{-2}$	$4,92 \cdot 10^{-2}$	1,23	4,92	19,7	123
8	$2,46 \cdot 10^{-2}$	$9,84 \cdot 10^{-2}$	2,46	9,84	39,4	246

Определим время t_{oc} , в течение которого частица достигает коллекторной пластины конденсатора и осажается на ней, из уравнения

$$\int_0^{t_{oc}} W(t) dt = H,$$

которое после интегрирования с учетом выражения (6) можно записать:

$$1 - \frac{W_{ycm}}{H} t_{oc} + \alpha \frac{W_{ycm}}{\eta} \tau [1 - \exp(-t_{oc}/\tau)] = 0. \quad (10)$$

Вводя нормированные переменные

$$T = \frac{t_{oc}}{t_H}, \quad (IIa)$$

$$A = \frac{a}{a_H}, \quad (IIб)$$

где

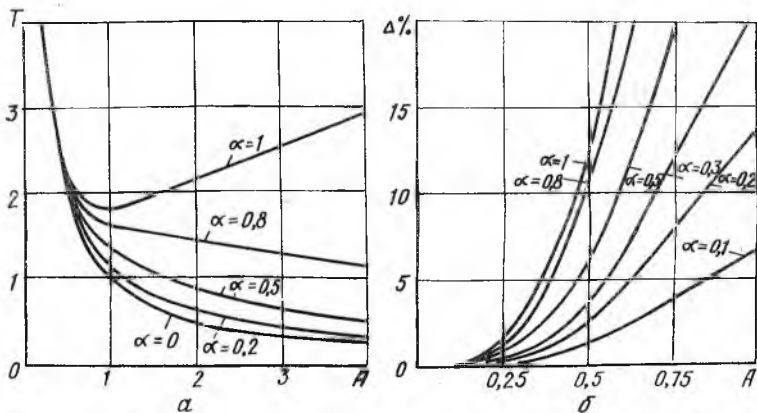
$$t_H = \sqrt[3]{\frac{\rho \eta H^2}{2\epsilon_0^2 (1 + 2\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2})^2 E_3^2 E^2 f^2(t_3)}}; \quad (12)$$

$$a_H = \sqrt[3]{\frac{27\eta^2 H}{4\rho\epsilon_0 (1 + 2\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2}) E_3 E f(t_3)}}; \quad (13)$$

можно получить обобщенное нормированное уравнение движения заряженной аэрозольной частицы в электрическом поле:

$$1 - AT + \alpha A^2 [1 - \exp(-T/A^2)] = 0. \quad (14)$$

На рис. 2,а графически показано решение уравнения (14) на ЭВМ М-222 для различных значений параметра α . Анализ показывает, что при $\alpha = 1$ (что соответствует $W_0 = 0$) зависимость $T = F(A)$ имеет экстремум (минимум) в точке с координатами $A_3 = 0,9245$, $T_3 = 1,8367$. Это означает, во-первых, что при $\alpha = 1$ (какой бы размер не имела частица) нормированное время осаждения не может быть меньше T_3 , во-вторых, в момент времени $T > T_3$ одновремен-



Р и с. 2. Расчетные зависимости: нормированного времени осаждения (а); погрешности Δ (б) от нормированного значения размера A аэрозольной частицы

но осаждаются частицы двух разных размеров. Применительно к конденсатору, который предназначен для исследования полидисперсного аэрозоля (см. рис. 1), это означает, что на некотором начальном участке коллекторной пластины частицы будут отсутствовать, а на остальной ее части наблюдается неоднозначность в определении размера осевших частиц.

Для исключения указанной неоднозначности необходимо выбрать такие параметры конденсатора, при которых для наибольшего размера содержащихся в исследуемом аэрозоле частиц выполнялось условие $A_{max} \leq A_3$, которое с учетом выражения (13) можно записать в виде

$$a_{max} \leq 0,9245 \sqrt[3]{\frac{27\eta^2 H}{4\rho\varepsilon_0(1+2\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2})E_3 E f(t_3)}} \quad (15)$$

Из рис. 2, а следует также, что нестационарность при движении заряженных аэрозольных частиц тем больше, чем больше нормированный размер A частицы. Погрешность в определении времени осаждения (и связанной с ним координатой осаждения O_2), обусловленную нестационарностью движения частицы, можно вычислить по формуле

$$\Delta = \frac{T - T_{\alpha=0}}{T_{\alpha=0}} 100\% \quad (16)$$

На рис. 2, б представлены графики зависимости $\Delta = \varphi(A)$, рассчитанные на ЭВМ с учетом уравнения (14) для различных значений (α) .

При расчете параметров конденсатора, исходя из требуемой погрешности Δ в определении времени осаждения (координаты осаждения), необходимо по графикам, приведенным на рис. 2, б, определить соответствующее значение A_Δ . Затем выбирают такие значения H и E , которые удовлетворяют неравенству

$$a_{max} \leq A_\Delta \sqrt[3]{\frac{27\eta^2 H}{4\rho\varepsilon_0(1+2\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+2})E_3 E f(t_3)}} \quad (17)$$

В табл. 2 даны значения $\frac{E}{H}$ и t_{oc} , рассчитанные с учетом формул (15), (17), (12) и (11, а) для некоторых размеров a_{max} ($\alpha = 1$).

Полученные результаты позволяют исходя из заданной погрешности, обусловленной нестационарностью движения крупных частиц, определить геометрические размеры, временной и электрический режимы измерительного конденсатора для тех случаев, когда действующее на частицу отклоняющее электрическое поле можно описать выражением (2).

Т а б л и ц а 2

a_{max} мкм		5	10	20	40	80	Примечание
$a_{max} = a_3$	$\frac{E}{H}, \frac{B}{M^2}$	$3,00 \cdot 10^8$	$3,75 \cdot 10^7$	$4,68 \cdot 10^6$	$5,87 \cdot 10^5$	$7,33 \cdot 10^4$	$\alpha = 1,$ $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5} \frac{K \cdot c}{M^2}$
	$t_{oc}, \text{м.с}$	2,26	9,03	36,0	144	577	$\rho = 4 \cdot 10^3 \frac{Kz}{M^3}$
$\Delta = 10\%$	$\frac{E}{H}, \frac{B}{M^2}$	$2,09 \cdot 10^7$	$2,61 \cdot 10^6$	$3,26 \cdot 10^5$	$4,08 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^3$	$\epsilon = 6$ $E_3 = 5 \cdot 10^5 \frac{B}{M}$
	$t_{oc}, \text{м.с}$	3,56	14,5	57,0	228	912	$f(t_3) = 0,9$

Л и т е р а т у р а

- Грин Х. лейн В. Аэрозоли -пыли, дымы, туманы. "Химия", Л.О., 1969.
- Lipscomb W.W., Rubin T.R., Sturdivant J.H., An investigation of a method for the analysis of smokes according to particle size, *J. of Appl. Phys.*, 18, 1974, s. 72.
- Yoshikawa H.H., *Electrostatic particle size analyzer, the rev. of sci. instr.*, 27, 1956, №6, с. 359.
- Калакутский Л.И., Малыгин Н.Е., Подольский А.А., Сорокин В.В. Полуавтоматическая установка для анализа дисперсного состава порошков. Сб. трудов ВНИИнеруд, Тольятти, 1974.
- Подольский А.А., Калакутский Л.И. Прибор для измерения порошкообразных материалов. "Коллоидный журнал" АН СССР, т. 37, вып. 6, 1975, с. 1198.
- Малыгин Н.А., Подольский А.А. Прибор для измерения объемной концентрации взвешенных частиц. Тезисы докладов семинара "Методы и средства контроля загрязняющих атмосферу промышленных выбросов". Киев, Общество знаний Украинской СССР, 1976.
- Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М., изд. АН СССР, 1961.