

УДК 621.928.9

Н.И. ШВИДКИЙ, д-р техн. наук, НИИБТГ  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОДОВ, СОЗДАЮЩИХ СУПЕРПОЗИЦИОННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В РАБОЧЕМ КАНАЛЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Рассмотрены особенности процесса целенаправленного пылевыведения в канале электрического аппарата с проникающими электродами, содержащего суперпозиционное электрическое поле.

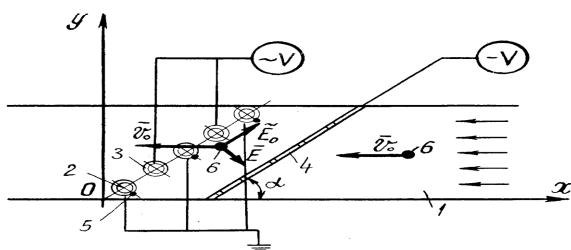
**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Основной задачей техники пылеулавливания является создание эффективного механизма воздействия силовых полей непосредственно на пылевые частицы. С этой точки зрения интерес представляет электрические силы, которые реализуются в электрофильтрах путем создания в них неоднородного электрического поля постоянного потенциала с образованием коронного разряда, последующей зарядкой пылевых частиц и выделением их из потока газа на осадительные поверхности. При этом остается не решенным до конца вопрос пылевого зарастания осадительных поверхностей и предотвращения вторичного запыления потока при регенерации осадительных электродов.

**Анализ исследований и публикаций.** Эту задачу можно решить путем использования метода суперпозиции (наложения) полей в рабочем канале аппарата [1-4], с помощью которого создаются благоприятные условия для интенсивной зарядки пылевых частиц, их транспортировки в определенную зону и выделения из газового потока. В отличие от традиционного способа электрической очистки газа предлагаемое суперпозиционное поле должно также предотвратить зарастание осадительных электродов и создать электрическую ловушку (бункер-накопитель) для выделения и удержания в ней пылевых частиц [5].

**Постановка задания.** Поставленное задание решает измененная специальным образом конструкция рабочего канала аппарата, содержащего постоянное и переменное электрические поля (суперпозиционное электрическое поле). Для этого необходимо решить научную задачу по исследованию характера поведения пылевых частиц в таком канале аппарата для общего случая расположения электродов.

**Изложение материала и результаты.** Пусть в некоторой области рабочего канала аппарата создано суперпозиционное электрическое поле, состоящее из постоянного поля, напряженность которого направлена под углом  $(\pi)-\alpha$  к начальной скорости частиц  $\dot{x}$ , и переменного электрического поля, вектор напряженности которого направлен под углом  $\alpha$  к скорости частицы. Такой канал назовем каналом с проникающими электродами.

Предположим, что частица пыли имеет предельный заряд, полученный в поле коронного разряда. Рассмотрим ее движение в плоскости  $xoy$ , в которой действуют указанные электрические силы, а также сила газодинамического давления (рис. 1).



**Рис. 1.** Физическая модель воздействия сил в суперпозиционном электрическом поле на заряженную пылевую частицу: 1-рабочий канал; 2 - заземленные электроды; 3-изолированные электроды; 4- электрод-сетка под постоянным потенциалом; 5 - коронирующие электроды; 6- частица пыли

Уравнение движения частицы для стоксовского режима ее обтекания потоком имеет вид

$$\begin{cases} m\ddot{x} = qE_0 \cos \alpha \cos \omega t + qE \sin \alpha - 3\pi\mu\dot{x}d, \\ m\ddot{y} = qE_0 \sin \alpha \cos \omega t - qE \cos \alpha - 3\pi\mu\dot{y}d, \end{cases} \quad (1)$$

где  $E_0$  - амплитудное значение напряженности переменного электрического поля, В/м;  $\alpha$  - угол наклона электродов, создающих переменное поле, к оси  $x$ , рад;  $\omega$ - циклическая частота тока, Гц.

В качестве начальных условий примем

$$\left. x \right|_{t=0} = x_0, \quad \left. y \right|_{t=0} = y_0, \quad \left. \dot{x} \right|_{t=0} = v_0, \quad \left. \dot{y} \right|_{t=0} = 0. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение (1) можно представить в виде

$$\begin{cases} \ddot{x} + A\dot{x} = B + D \cos \omega t, \\ \ddot{y} + A\dot{y} = N + M \cos \omega t, \end{cases} \quad (3)$$

где  $A, B, D, N, M$  - удельные силовые параметры указанных сил, причем

$$A = \frac{3\pi\mu d}{m}; \quad B = \frac{qE \sin \alpha}{m}; \quad D = \frac{qE_0 \cos \alpha}{m}; \quad N = \frac{qE \cos \alpha}{m}; \quad M = \frac{qE_0 \sin \alpha}{m}, \quad (4)$$

Общее решение линейных дифференциальных уравнений (3) с постоянными коэффициентами (4) с учетом начальных условий (2) имеет вид

$$\begin{cases} x - x_0 = \left[ \frac{1}{A^2} (B + \omega P \cos \varphi) - \frac{v_0}{A} \right] e^{-At} + \frac{1}{A} \left[ Bt - \frac{B}{A} + P \sin(\omega t + \varphi) \right] + \frac{v_0}{A}, \\ y - y_0 = \frac{1}{A^2} (-N + \omega R \cos \varphi) e^{-At} - \frac{N}{A} t + \frac{R}{A} \sin(\omega t + \varphi) + \frac{N}{A^2}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\varphi = -\arctg \frac{\omega}{A}$  - сдвиг фаз относительно начала отсчета времени, рад;

$$R = M \frac{A}{\omega} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + A^2}}, \quad P = D \frac{A}{\omega} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + A^2}}$$

Система уравнений (5) представляет собой траекторию движения заряженной частицы пыли в плоскости  $xoy$ .

Тогда скорость движения частицы в параметрическом виде можно определить из выражения.

$$\begin{cases} \dot{x} = \left[ v_0 - \frac{1}{A} (B + \omega P \cos \varphi) \right] e^{-At} + \frac{B}{A} + \frac{P\omega}{A} \cos(\omega t + \varphi), \\ \dot{y} = \left( \frac{N}{A} - \frac{\omega R}{A} \cos \varphi \right) e^{-At} - \frac{N}{A} + \frac{R\omega}{A} \cos(\omega t + \varphi). \end{cases} \quad (6)$$

Для примера на рис.2 показаны зависимости скорости частиц от времени, рассчитанные по формулам (6) для плотности вещества частиц  $\rho = 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и следующих исходных данных:  $E = 5 \cdot 10^5 \text{ В/м}$ ;  $E_0 = 2 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ ;  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;  $\alpha = \pi/4$ ;  $v_0 = 1 \text{ м/с}$ ;  $d = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ ;  $10^{-4} \text{ м}$ .

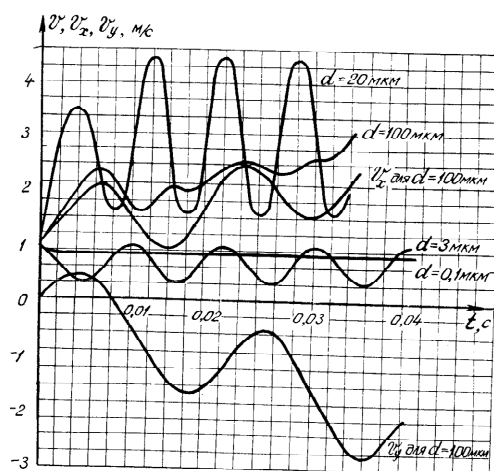


Рис. 2. Зависимость скорости движения пылевых частиц различной крупности от времени в суперпозиционном электрическом поле

В результате анализа установлено, что скорость частиц размером менее  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  в установившемся случае имеет колебательный характер с постоянной амплитудой, а частицы размером более  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  имеют тенденцию к росту величины скорости как в проекциях на оси координат, так и абсолютного ее значения.

На рис. 3 приведены траектории частиц пыли, рассчитанные по зависимостям (5). Из рисунка видно, что при вышеуказанных исходных данных все частицы, движущиеся к области суперпозиционного поля, меняют направление движения на противоположное (навстречу потоку) и одновременно совершают колебательные движения, вызванные переменным электрическим полем. Причем скорости их движения существенно отличаются, имея тенденцию к росту для крупных частиц пыли. Расчеты проведены для времени (0- 0,04) с.

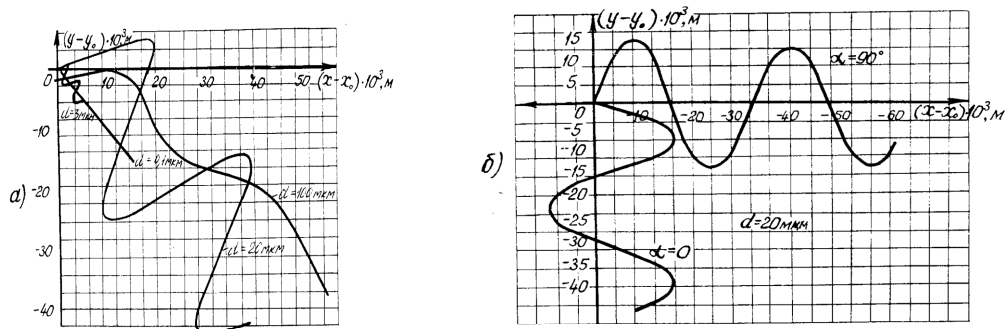


Рис. 3. Траектории частиц пыли при различных углах их набегаия к области суперпозиционного поля: а - при  $\alpha = 45^\circ$ ; б - при  $\alpha = 0^\circ$ ;  $\alpha = 90^\circ$

Для подтверждения полученных закономерностей движения пылевых частиц были проведены экспериментальные исследования на модели, схема которой представлена на Рис.1. Запыленный поток подавали из воздуховода в область суперпозиционного поля. По ходу движения потока установлена проникающая металлическая сетка, находящаяся под высоким постоянным электрическим потенциалом, параллельно трубчатым электродам, покрытым диэлектриком, в которых через один установлены заземленные проволочные коронирующие электроды. Коронирование осуществлялось на сетку, отстоящую от трубчатых электродов на 0,06 м, где происходила зарядка пылевых частиц. Напряженность постоянного электрического поля равнялась  $5 \cdot 10^5$  В/м.

Переменное электрическое поле напряженностью  $E \approx E_0 \sin \omega t$  ( $E_0 = 2 \cdot 10^6$  В/м) создавали при помощи рядом стоящих трубчатых, покрытых стеклом, электродов. Наличие диэлектрика (стекла) на трубчатых электродах позволило значительно повысить уровень напряженности электрического поля и исключить образование дуговых и искровых пробоев.

В области между трубчатыми электродами, где значительно увеличиваются силы электрического поля, заряженная пылевая частица получала ускорение в направлении, противоположном движению запыленного потока. Зафиксированные телекамерой треки частиц, отброшенных из области суперпозиционного поля, подтверждают характер траекторий, полученных теоретически. На рис. 3б для сравнения приведены результаты расчета траекторий заряженных пылевых частиц размером  $2 \cdot 10^{-5}$  м при углах набегаия частиц пыли на электроды, равных нулю и  $\pi/2$ . Из рисунка видно, что под действием переменного электрического поля частицы пыли приобретают колебательное движение в направлении изменения поля, а под действием постоянного электрического поля они приобретают постоянную скорость дрейфа.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Следовательно, путем создания суперпозиционных полей нужной конфигурации и достаточного уровня напряженности электрического поля, можно добиться эффективного выделения пылевых частиц из потока. Причем выделение пыли из потока можно осуществить целенаправленно в нужном направлении, например в зону аэродинамической тени, где не происходит повторное ее взметывание или направить в специально оборудованную электрическую ловушку (бункер-накопитель), которая реализуется при угле набегаия потока  $\alpha = 0^\circ$  и размещением под электродом-сеткой 4 (рис. 1) пылеприемного бункера.

#### Список литературы

1. Основы электрогазодинамики дисперсных систем / И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Т.З. Мирзябекян и др.- М.: Энергия, 1974. - 480 с.
2. Дымовые электрофильтры /В.И.Левитов, И.К.Решидов, В.М.Ткаченко и др.-М.:Энергия, 1980. - 448 с.
3. Балтренас П.Б. Исследование динамики частиц пыли в электрическом поле и создание устройства для их улавливания // Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнений. Киев: Наукова думка, 1977. - вып. 3. - С. 106-110.
4. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.- М.:Наука, 1972.-224 с.
5. Швидкий Н.И. Научные основы, способы и системы комплексной очистки пылегазовых выбросов промышленных предприятий / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.- Кривой Рог: Минерал, 1997. - 38с.

Рукопись поступила в редакцию 04.04.13