

[С. И. ПОПОВ], академик И. В. ПЕТРЯНОВ

# СВОЙСТВА ЗАРЯЖЕННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ФИЛЬТРОВ ПЕТРЯНОВА

Замечательным свойством материалов фильтров Петрянова (ф.П.) является возможность сообщения им электрических зарядов, резко повышающих их фильтрующие свойства. Заряды на материалах ф.П. могут сохраняться в течение 10 и более лет.

Коэффициенты захвата и фильтрующего действия для не заряженных ф.П. приведены в работах (1-3). В настоящей работе рассматриваются закономерности фильтрации заряженными материалами ф.П., распределение зарядов и напряженности поля в слое ф.П.

Как показали опыты с цилиндром Фарадея, слои заряженных материалов ф.П. в целом нейтральны. Заряды же отдельных волокон слоя, измеренные в цилиндре Фарадея, порядка  $10^5$  CGSE·см<sup>-3</sup>, независимо от знака. Измерение поверхностного заряда  $\sigma$  слоя заряженного ф.П. индукционным методом (4) показало, что поверхности слоя несут противоположные по знаку заряды  $\sigma$ , по величине равные 6—10 CGSE/см<sup>2</sup>. Заряды в слое сохраняются продолжительное время, если волокна изготовлены из гидрофобного и с высокими диэлектрическими свойствами полимера, например, перхлорвинила, полистирола.

Истинное распределение зарядов волокон в слое измерить трудно, и оно пока неизвестно. Однако установлено, что создаваемое зарядами волокон поле внутри слоя явно не однородное: наложение на заряженный слой ф.П. внешнего однородного поля противоположного направления не уничтожает эффект электростатического улавливания аэрозолей.

Есть основания предполагать, что распределение зарядов волокон  $q$  CGSE/см<sup>3</sup> в слое в первом приближении линейно (рис. 1) и выражается формулой:

$$q = q_{\max} (2x/H); \quad (1)$$

$$-\frac{H}{2} \leq x \leq \frac{H}{2};$$

$H$  — толщина слоя, см; напряженность поля в этом случае:

$$E = 4\pi\beta q_{\max} \left( \frac{H}{4} - \frac{x^2}{H} \right); \quad (2)$$

$\beta$  — плотность упаковки волокон в слое фильтра ф.П.; формула дает только средние значения  $E$ , без учета реальной дискретности зарядов волокон. Напряженность  $E$  максимальна внутри слоя при  $x=0$ :

$$E_{\max} = q_{\max} \cdot \pi\beta H = 2\bar{q}\pi H\beta. \quad (3)$$

$\bar{q}$  — средний объемный заряд волокон, принимаемый равным половине максимального:  $\bar{q} = q_{\max}/2$ ;

Величина  $E_{\max}$  не может быть выше пробойной напряженности  $E_{пр}$  воздушного промежутка в слое. Ее можно оценить из данных по улавливанию аэрозолей заряженными материалами ф.П. По формуле Г. А. Натан-

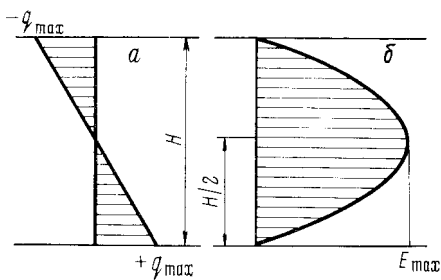


Рис. 1

Рис. 1. *a* — распределение зарядов волокон в слое заряженного ф.п. *б* — распределение напряженности электрического поля в слое заряженного ф.п.

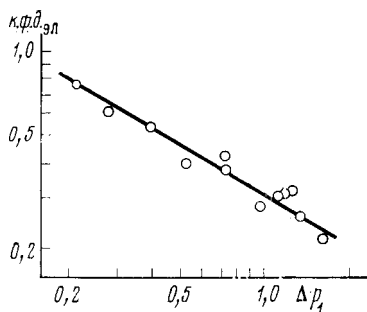


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость к.ф.д.эл заряженного материала ФПП-15 от сопротивления слоя (мм вод. ст.)

сона <sup>(5)</sup> для коэффициента захвата  $\eta_{эл}$  изолированным заряженным цилиндром не заряженных частиц при  $\eta \gg 1$ :

$$\eta_{эл} = \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{\pi^2 q^2 a R^2}{v_0 \mu} \right)^{1/2}; \quad (4)$$

$R$  — радиус частиц аэрозоля,  $a$  — радиус волокон,  $v_0$  — скорость потока вдали от цилиндра;  $\mu$  — вязкость воздуха;  $\varepsilon$  — диэлектрическая постоянная вещества аэрозольных частиц; используя формулу 3, получаем

$$\eta_{эл} = \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{E_{\max}^2 a R^2}{4 H^2 \beta^2 v_0 \mu} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Для коэффициента фильтрующего действия к.ф.д.эл, используя соотношение

$$\kappa.ф.д. = \frac{2 \eta \beta H}{2.3 \pi a (\Delta p_1)} \quad k = -0.5 \ln \beta - 0.48, \quad (6)$$

получаем

$$\kappa.ф.д.эл = \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{0.13 E_{\max}^2 R^2 k}{\mu^2 v_0 (\Delta p_1)^2} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Из опытных данных к.ф.д.эл определяем из условия аддитивности к.ф.д.:  $\kappa.ф.д.зар = \kappa.ф.д.мех + \kappa.ф.д.эл$ , где  $\kappa.ф.д.мех$  обусловлен захватом за счет диффузии и касания.

Из опытов известно, что к.ф.д.эл при улавливании аэрозоля с  $R = 0.15$  мкм при скорости 1 см/сек для материалов ФПП-70-0.2; ФПП-70-0.5 и ФПП-15-1.5 равны 8.0; 4.5; 2.0 соответственно. Приняв  $(\varepsilon - 1)/(\varepsilon + 2) = 1$  (полагаем частицы аэрозоля проводящими), получаем для  $E_{\max}$  следующие значения: 41, 43.5 и 38 кв/см соответственно. Эти значения близки друг к другу и к пробойным напряженностям для воздуха при нормальных условиях для промежутков порядка 1–0.1 мм.  $E_{\max} = E_{пр}$  не зависит в первом приближении от диаметра волокон и толщины слоя (его сопротивления). Из формулы 7 следует, что к.ф.д.эл возрастает при уменьшении сопротивления слоя  $\Delta p_1$ . Экспериментальная зависимость к.ф.д.эл от  $\Delta p_1$  представлена на рис. 2 для материала ФПП-15 ( $2a = 1.5$  мкм) с различными сопротивлениями слоев  $\Delta p_1$ . Наклон прямой равен минус 0.6, что близко к теоретически ожидаемому  $-2/3$ . Это значит, что фильтр ф.п., составленный из нескольких заряженных тонких слоев, обладает значительно большим к.ф.д.эл, чем из одного заряженного слоя того же сопротивления и толщины.

Сопоставление теоретических и экспериментальных данных подтверждает качественное и достаточно корректное количественное согласие с предложенными моделью и расчетом заряженных слоев ф.П.

Заряды слоев заряженных ф.П. стекают под действием ионизирующего облучения дозой свыше  $10^4$ – $10^5$  рад при смачивании, прессовании, улавливании аэрозолей с проводящими частицами. Практически электростатический эффект улавливания аэрозолей заряженными ф.П. используется в фильтрах, рассчитанных на работу непродолжительное время — до нескольких десятков или сотен часов, например, в респираторах.

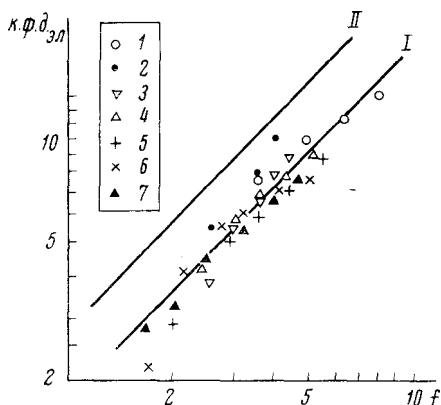


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость к.ф.д.эл от  $f$  для аэрозолей с радиусом частиц  $R$ : 1 — 0,36; 2 — 0,30; 3 — 0,28; 4 — 0,27; 5 — 0,27; 6 — 0,25; 7 — 0,23 мкм. I — экспериментальная прямая, II — вычисления по формуле 8

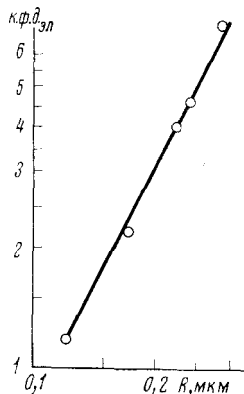


Рис. 4

Рис. 4. Зависимость к.ф.д.эл от радиуса частиц аэрозоля при наложении внешнего электрического поля  $E_0 = 10$  кВ/см

Наложение на незаряженные материалы ф.П. внешнего однородного электрического поля  $E_0$  вызывает поляризацию волокон, взаимодействие которых с незаряженными частицами аэрозоля в первом приближении описывается формулой, приведенной в работе (6) ( $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  — диэлектрические постоянные материала волокон и частиц):

$$\eta_{эл} = 0,5 f; \quad f = 2 \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 1} \cdot \frac{\epsilon_2 - 1}{\epsilon_2 + 2} \cdot \frac{R^3}{a} \cdot \frac{E_0^2 B}{v_0}. \quad (8)$$

На рис. 3 представлена экспериментальная зависимость  $\lg$  к.ф.д.эл от  $\lg f$  при наложении на рязряженный ф.П. внешнего поля  $E_0$ . Опыты проводились с монодисперсными аэрозолями стеариновой кислоты с  $R$  от 0,14 до 0,36 мкм, при  $v_0 = 1$  см/сек,  $E_0$  от 0 до 13 кВ/см.

На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость  $\lg$  к.ф.д.эл от  $\lg R$  при  $E_0 = 10$  кВ/см,  $v_0 = 1$  см/сек,  $2a = 3$  мкм. Наклоны прямых на графиках близки к теоретически ожидаемым (1 и 2), что качественно подтверждает теоретические представления.

Физико-химический институт  
им. Л. Я. Карпова  
Москва

Поступило  
22 VII 1975

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Е. Н. Ушакова, В. И. Козлов, И. В. Петрянов, Колл. журн., т. 35, № 2 (1973).
- <sup>2</sup> Е. Н. Ушакова, В. И. Козлов, И. В. Петрянов, Колл. журн., т. 35, № 5 (1973).
- <sup>3</sup> И. Стечкина, А. Кириш, Н. А. Фукс, Колл. журн., т. 31, № 1, 121 (1969).
- <sup>4</sup> А. Губкин, ЖТФ, т. 27, в. 9, 1955 (1959).
- <sup>5</sup> Г. Л. Натансон, ДАН, т. 112, № 4, 696 (1957).
- <sup>6</sup> G. Zebel, J. Coll. Sci., v. 20, 522 (1965).