

## АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЕ НА ВЗВЕШЕННУЮ В ПОТОКЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ЧАСТИЦУ САЖИ

**Некрашевич Владимир Федорович**, доктор технических наук профессор кафедры «Механизация животноводства», Заслуженный деятель науки и техники РФ

**Тришкин Иван Борисович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные, дорожные и специальные машины»

**Солдатов Роман Алексеевич**, аспирант, ассистент кафедры «Сельскохозяйственные, дорожные и специальные машины»

ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

390044г. Рязань, ул. Костычева, д. 1

Тел. (4912) 35-37-22, (920) 956-01-09, e-mail: rsoldat@yandex.ru

**Ключевые слова:** отработавшие газы, электрический фильтр, коронирующий электрод, осадительный электрод

В данной статье дан теоретический анализ действия сил в электрофильтре на взвешенную в потоке отработавших газов частицу сажи и определена предельная толщина осажденного слоя сажи на поверхности сборников сажи. Установлено, что для увеличения силы притягивания сажевых частиц к поверхности сажесборников необходимо увеличивать максимальный заряд частиц за счет увеличения напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке электрического фильтра. Выявлена оптимальная предельная толщина осажденного слоя сажи на поверхности сажесборников.

Взвешенные в отработавших газах (ОГ) двигателя сажевые частицы при поступлении в зону зарядки электрического фильтра (ЭФ), приобретают электрический заряд, который достигает значения, близкого к максимальному, за доли секунды [1].

Поскольку частицы сажи находятся в электрическом поле фильтра высокой напряженности в течение малого времени, можно считать, что заряд их имеет постоянное, не зависящее от времени значение и определяется размером частиц и величиной напряженности электрического поля [1, 2, 3].

В общем случае на взвешенную в потоке ОГ частицу сажи внутри зоны зарядки ЭФ (рисунок) действует результирующая сила, Н, которая увлекает частицы в движущемся потоке ОГ,

$$\overline{F}_B = \overline{F}_И + \overline{F}_K + \overline{F}_C, \text{ Н (1)}$$

где  $\overline{F}_И$  – сила индукции, Н;  $\overline{F}_K$  – ку-

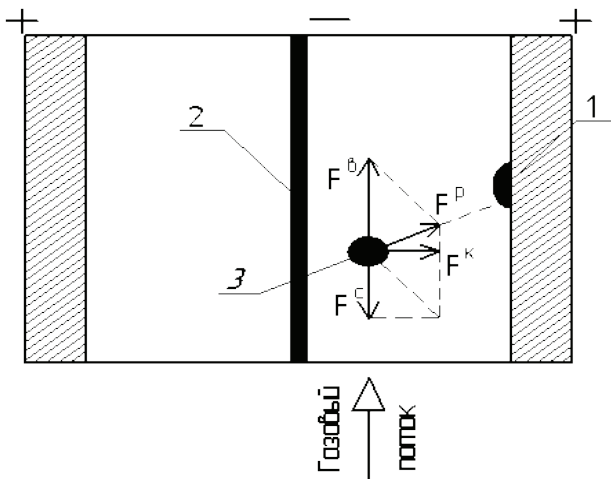
лоновская сила, Н;  $\overline{F}_N$  – сила сопротивления среды, Н.

Сила индукции, Н, [3]

$$\overline{F}_И = 4\pi\epsilon_0 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon - 2} r^2 E \frac{dE}{dX}, \text{ Н (2)}$$

где  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м;  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $r$  – радиус частицы сажи, м;  $E_3$  – напряженность электрического поля, В/м;  $X$  – координата, совпадающая по направлению с электрическим полем.

Необходимо отметить, что в разных точках разрядного промежутка напряженность поля неодинакова. Она сильно изменяется только в небольшой области у коронирующего электрода, и  $dE/dX$  принимает отрицательное значение. Поэтому лишь в непосредственной близости от коронирующего электрода может проявляться действие этой силы на крупные сажевые части-



1 – некоронирующий электрод, 2 – коронирующий электрод, 3 – частица сажи  
**Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу сажи в электрофильтре**

цы, заставляя двигаться их к коронирующему электроду.

Для большей части внешней зоны коронного разряда напряженность поля изменяется слабо, и с достаточной для практики точностью ее можно считать постоянной. То есть для большей части разрядного промежутка  $dE/dX \approx 0$ , и влияние силы  $F_{и}$  на движение сажевых частиц внутри ЭФ можно не учитывать.

Основной силой, действующей на частицу сажи в ЭФ, является кулоновская сила  $F_K$  действия электрического поля на заряд частицы:

$$F_K = q_M \cdot E_{oc}, \text{ Н} \quad (3)$$

где  $q_M$  – максимальный заряд частицы сажи, Кл;  $E_{oc}$  – напряженность электрического поля, осаждающего частицы, В/м.

Вне области короны действие этой силы на сажевую частицу направлено к некоронирующему электроду.

Для крупных сажевых частиц диаметром больше 1 мкм максимальный заряд [3]

$$q_M^{\delta} = 4\pi\epsilon_0 \delta E_3 r^2, \text{ Кл} \quad (4)$$

где  $\delta$  – показатель диэлектрических свойств частицы сажи.

Величину  $\delta$  можно вычислить из формулы:

$$\delta = 1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2}; \quad (5)$$

Для мелких сажевых частиц диаметром менее 1 мкм максимальный заряд определим по следующей формуле [3]:

$$q_M^M = 4\pi\epsilon_0 \frac{r}{l} K_B T \ln \left( 1 + \frac{1}{4} \pi\epsilon_0 \sqrt{\frac{2\pi}{m K_B T}} \cdot 2r N_0 l^2 \tau \right), \text{ Кл} \quad (7)$$

где  $m$  – масса иона, кг;  $\tau$  – время зарядки, с;  $T$  – абсолютная температура, К;  $K_B$  – постоянная Больцмана, Дж/град;  $N_0$  – начальная концентрация ионов коронного разряда;  $l$  – заряд электрона, Кл.

Передвигаясь в электрическом поле, заряженная частица сажи будет испытывать действие силы сопротивления среды  $F_C$ , которая зависит от ее размеров и скорости движения, а также от вязкости среды:

$$F_C = 6\pi\mu r \omega_n, \text{ Н} \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости ОГ, Н·с/м<sup>2</sup>;  $\omega_n$  – скорость движения частицы сажи, м/с.

Используя второй закон механики, перепишем уравнение (2) следующим образом [4]:

$$m \frac{d\omega_n}{dt} = q_M E_{oc} - 6\pi\mu\omega_n; \quad (9)$$

После соответствующих преобразований данное выражение примет следующий вид:

$$\frac{d\omega_n}{dt} + \frac{6\pi\mu\omega_n}{m} = \frac{q_M}{m} E_{oc}; \quad (10)$$

Решая данное дифференциальное линейное уравнение 1-го порядка, получим выражение для определения скорости движения сажевых частиц, м/с, к осадительным электродам фильтра [1, 2]:

$$\omega_n = \frac{q_M E_{oc}}{6\pi\mu} \left( 1 - e^{-\frac{6\pi\mu t}{m}} \right) \quad (11)$$

Учитывая, что значение экспоненты в степени очень мало, то очевидно, что им можно пренебречь. С учетом этого запишем окончательное выражение для скорости ча-

стиц сажи

$$\omega_n = \frac{2\varepsilon_0 E_{oc} E_3 \cdot r}{\mu}, \text{ м/с.} \quad (12)$$

Осевшие сажевые частицы удерживаются на поверхности электродов под действием двух основных сил: сил адгезии и электрической.

Сила сцепления,  $H$ , частицы сажи с плоскостью осадительного электрода

$$F_M = \pi \sigma D \cdot 10^{-10}, \quad (13)$$

где  $\sigma$  – механическое напряжение,  $H/m^2$ ;  $D$  – диаметр частицы сажи,  $m$ .

Электрическая сила,  $H$ , взаимодействия между частицей сажи и поверхностью осадительного электрода будет зависеть от напряженности электрического поля, удельного электрического сопротивления сажи, размера частиц, а также плотности тока короны и может быть найдена по следующей формуле [3]:

$$F_3 = D^2 (CE i_s \rho_3 - C_1 E^2), \quad (14)$$

где  $D$  – диаметр частицы сажи,  $m$ ;  $C$  и  $C_1$  – константы;  $i_s$  – плотность тока,  $A/m^2$ ;  $\rho_3$  – удельное электрическое сопротивление частиц сажи,  $Om \cdot m$ .

Ввиду того, что значение множителя  $CE i_s \rho_3 > C_1 E^2$ , электрическая сила  $F_3$  принимает положительное значение, что в итоге не будет способствовать вторичному уносу сажевых частиц с поверхности осадительных электродов.

Для исключения этого негативного яв-

ления необходимо знать предельную толщину слоя осажженной сажи,  $m$ , при которой частицы будут удерживаться на поверхности осадительных электродов:

$$h = \frac{4\sigma \cdot 10^{-10}}{D \cdot S \cdot (ng)}, \quad (15)$$

где  $S$  – средняя толщина слоя сажи на осадительных электродах,  $m$ ;  $ng$  – ускорение, сообщаемое электродам фильтра от вибраций при работе трактора,  $m/c^2$ .

Таким образом, для увеличения силы притягивания сажевых частиц к поверхности сажесборников необходимо увеличивать максимальный заряд частиц за счет увеличения напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке ЭФ. При этом предельная толщина осажженного слоя сажи на поверхности сажесборников не должна превышать  $0,6$   $mm$ .

#### Библиографический список:

1. Тэнэсеску Ф., Крамарюк Р. Электростатика в технике. / Пер. с рум. – М.: Энергия, 1980. – 296 с.
2. Клейменов Э.В. Электрофизические методы переработки сельскохозяйственной продукции. – Рязань, РГСХА, 2003. – с. 32-38.
3. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. – 314 с.
4. Аркуша А.И., Фролов М.И. «Техническая механика». – М.: Высшая школа, 1983. – 447 с.