

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.359.4

Ю.М. Кайгородов

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КОРОННОРАЗРЯДНОМ УЗЛЕ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Технологическая схема продольного электрофильтра принципиально отличается традиционной схемы. Во-первых, вектор скорости газового потока и вектор электрических сил, действующих на частицу аэрозоля, совпадают по направлению. Во-вторых, осадительные электроды выполнены из дискретных цилиндрических элементов, в отличие от традиционных сплошных полей. Эти особенности обуславливают необходимость определения математической модели электростатического поля, воздействующего на частицы аэрозоля в разрядном промежутке продольного электрофильтра.

Общий вид электростатического поля между коронирующим (верхним) и цилиндрическим осадительным электродами показан на рис. 1.

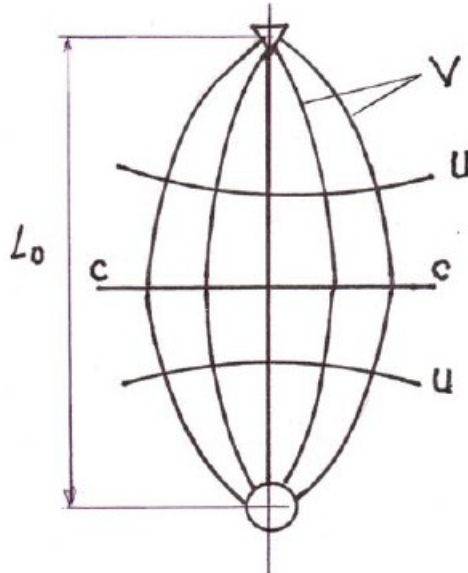


Рис. 1. Электростатическое поле разрядного промежутка

Электростатическое поле характеризуется эквипотенциальными линиями  $U$  и линиями напряженности  $V$ . Через середину разрядного промежутка проходит центральная эквипотенциальная

линия  $C-C$  на расстоянии  $\frac{L_0}{2}$  от электродов. Ис-

следованиями [1] было показано, что линии напряженности  $V$  от электродов до центральной эквипотенциали правомерно описывать уравнением парабол. В связи с тем, что характер поля вдоль электродов не изменяется, электростатическое поле можно рассматривать как двумерное плоскопараллельное поле.

Межэлектродное пространство функционально может быть разделено на две области: в области, примыкающей к коронирующему электроду, происходит процесс зарядки частиц аэрозоля, а в области осадительного электрода имеет место процесс осаждения. Целью исследований является процесс осаждения, поэтому будем рассматривать область осаждения. Схема электростатического поля в области осаждения представлена на рис. 2.

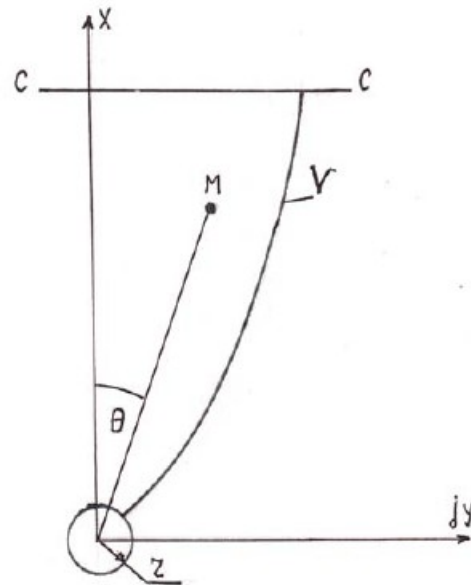


Рис. 2. Модель электростатического поля

Для расчета и проектирования продольных электрофильтров необходимо определять значения напряженности  $E$  в любой точке  $M$ , которая задается радиусом  $\rho$  и углом  $\theta$ .

Для исследования данного поля применяется метод конформного отображения. Плоскость двумерного поля рассматривается как плоскость ком-

плесного переменного

$$z = x + jy = \rho e^{j\theta}, \quad (1)$$

$$\text{где } \rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{y}{x}.$$

Каждой точке на плоскости  $(x, jy)$  соответствует комплексное число  $z$ , с помощью которого можно записывать обычные математические функции. При этом выбор математической функции  $f(z)$  заранее неочевиден. При выборе вида функции  $f(z)$  необходимо иметь представление о будущем решении поставленной задачи. Как отмечалось ранее, линии напряженности можно аппроксимировать уравнением параболы.

Таким образом, линия напряженности  $V$  в пространстве осадительный электрод радиусом  $r$  – средняя эквипотенциаль  $C-C$  считаем параболой. Так как линии напряженности и эквипотенциали являются ортогональными функциями, то и эквипотенциали будут представлять собой параболы. В [2] рекомендуется при подобной структуре электростатического поля использовать функцию

$$f(z) = \sqrt{x + jy}.$$

С учетом выражения (1) функция  $f(z)$  будет иметь вид

$$\begin{aligned} f(z) &= \rho^{1/2} \cdot e^{j\theta} = \rho^{1/2} \left( \cos \frac{\theta}{2} + j \sin \frac{\theta}{2} \right) = \\ &= \sqrt{\rho} \cdot \cos \frac{\theta}{2} + j \sqrt{\rho} \cdot \sin \frac{\theta}{2} = u(\rho, \theta) + jv(\rho, \theta), \end{aligned}$$

где  $u(\rho, \theta)$  – уравнение эквипотенциалей,  $v(\rho, \theta)$  – уравнение напряженностей.

Для решения задачи с учетом электрических и конструктивных параметров введем функцию:

$$\begin{aligned} F(z) &= Af(z) = A \cdot u(\rho, \theta) + Ajv(\rho, \theta) = \\ &= U(\rho, \theta) + jV(\rho, \theta), \end{aligned}$$

где  $A$  – совокупность электрических и конструктивных параметров.

Последнее уравнение можно записать

$$\begin{aligned} U(\rho, \theta) &= A\sqrt{\rho} \cdot \cos \frac{\theta}{2} + C_1, \\ V(\rho, \theta) &= A\sqrt{\rho} \cdot \sin \frac{\theta}{2} + C_2, \end{aligned}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – граничные условия.

Принимая во внимание равенства

$$\begin{aligned} \cos \frac{\theta}{2} &= \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}}, \\ \sin \frac{\theta}{2} &= \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}}, \end{aligned}$$

уравнения  $U(\rho, \theta)$  и  $V(\rho, \theta)$  можно записать

$$U(\rho, \theta) = A\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} + C_1,$$

$$V(\rho, \theta) = A\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}} + C_2.$$

Граничным условием для функции  $U(\rho, \theta)$  является нулевой потенциал осадительного электрода  $U_o = 0$ , т.е. при  $\rho = r$

$$\begin{aligned} A\sqrt{r} \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} + C_1 &= 0 \\ C_1 &= -A\sqrt{r} \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} \end{aligned}$$

В результате уравнение эквипотенциалей будет

$$U(\rho, \theta) = A(\sqrt{\rho} - \sqrt{r}) \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} \quad (2)$$

Граничным условием для функции  $V(\rho, \theta)$  служит значение  $V(\rho, \theta)$  при  $\theta = 0$ :

$$V(\rho, \theta) = A\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{1 - \cos 0}{2}} + C_2 = 0 + C_2$$

т.е.  $C_2 = 0$ .

В итоге уравнение линий напряженности будет иметь вид

$$V(\rho, \theta) = A\sqrt{\rho} \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}} \quad (3)$$

Величина  $V$  определяет траекторию силовой линии, но физическое содержание этого параметра более глубокое. Поток напряженности электрического поля  $\Psi$  определяется в общем случае выражением

$$\Psi = E \cdot S \text{ (в.м)},$$

где  $S$  – площадь потока.

Линия напряженности  $V$  определяется

$$V = \frac{\Psi}{l} \text{ [в]},$$

где  $l$  – глубина поля.

Таким образом, параметр  $V$  определяет поток напряженности на 1 м длины электрода.

Параметр  $A$  можно определить из (2) при  $\rho = \frac{L_o}{2}$  и  $\theta = 0$  и напряжении на средней линии

электрического поля  $C-C$   $U_c = \frac{U_{um}}{2}$ , где  $U_{um}$  – напряжение источника питания.

При данных граничных условиях получим

$$A = \frac{U_{um}}{2(\sqrt{L_o} - \sqrt{r})};$$

Окончательно, уравнения (2) и (3) будут

$$U_{(\rho, \theta)} = \frac{U_{um}}{2} \cdot \frac{(\sqrt{\rho} - \sqrt{r}) \cdot \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}}}{\left( \sqrt{\frac{L_o}{2}} - \sqrt{r} \right)} \quad (4)$$

$$V_{(\rho, \theta)} = \frac{U_{im}}{2(\sqrt{\rho} - \sqrt{r})} \cdot \sqrt{\rho} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}} \quad (5)$$

Эти же уравнения в декартовых координатах

$$U_{(x,y)} = \frac{U_{im}}{2\left(\sqrt{\frac{L_0}{2}} - \sqrt{r}\right)} \left(\sqrt{x^2 + y^2} - \sqrt{r}\right) \times \\ \times \sqrt{0,5 + \frac{0,5 \cdot x}{\sqrt{x^2 + y^2}}}$$

$$V_{(x,y)} = \frac{U_{im} \sqrt{x^2 + y^2}}{2\left(\sqrt{\frac{L_0}{2}} - \sqrt{r}\right)} \cdot \sqrt{0,5 + \frac{0,5x}{\sqrt{x^2 + y^2}}}$$

Поскольку электростатическое поле имеет по-

тенциальный характер, напряженность электростатического поля  $E$  может быть определена в любой точке разрядного промежутка [3]:

$$E_x = -\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial V}{\partial y};$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial y}.$$

На частицу аэрозоля, имеющую заряд  $q$ , действуют силы:

$$F_x = qE_x, \quad F_y = qE_y,$$

определяющие перемещение частицы в электростатическом поле.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кайгородов Ю.М. Основы расчета и создание электрогазодинамических установок для борьбы с аэрозолями в горной промышленности. Автореферат кандидатской диссертации. – Новосибирск, 1991, 13 с.
2. Татур Т.А. Основы теории электромагнитного поля. Справочное пособие. – М.: ВШ, 1989, 272 с.
3. Нейман Л.Р., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники. Часть 3. – М.: Госэнергоиздат, 1959, 232 с.

□ Автор статьи:

Кайгородов  
Юрий Миронович,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. электропривода и  
автоматизации КузГТУ  
Тел. 8-913-291-82-50

УДК 621.359.4

Ю. М. Кайгородов

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА ПОТОКОМ ГАЗА

В продольных электрофильтрах поток газа обтекает цилиндрические осадительные электроды. При этом на процесс осаждения электрически заряженных частиц аэрозоля кроме электрических сил оказывают влияние аэродинамические силы и силы инерции. Поэтому возникает необходимость исследования процесса обтекания осадительного электрода.

При решении поставленной задачи постулируется, что течение газа имеет потенциальный характер. Общий вид потенциального обтекания цилиндра представлен на рис. 1.

Газ поступает в электрофильтр со скоростью  $W$  и обтекает осадительный цилиндрический электрод радиусом  $r$ . Положение точки  $M$  в зоне осаждения определяется радиусом  $\rho$  и углом  $\theta$  в полярной системе координат и координатами  $x, y$

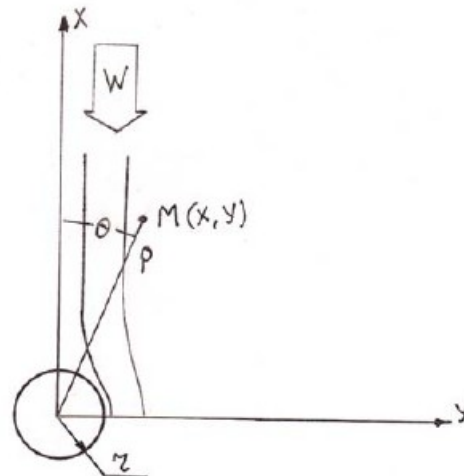


Рис. 1. Обтекание цилиндра потоком газа