Ф.А.Ганеев, В.М.Маковеев, Л.И.Хайбулова, С.В.Солдаткин
Казанский технический университет им. А.Н.Туполева

УДК 621.319.52 (088.8)

АСПИРАЦИОННАЯ КАМЕРА С ПРОДУВАЕМЫМИ СЕТКАМИ ДЛЯ СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ

Исследована модель аспирационной измерительной камеры с продуваемыми сетками для счетчика легких аэроионов. Для увеличения надежности камеры предлагается выполнить ее в виде плоской электродной линзы. Разработана ее математическая модель. Проведенные расчеты напряженности электрического поля линзы и исследование траекторий движения аэроионов в ее рабочем объеме позволили установить конструктивные размеры электродов и получить зависимости, согласно которым по заданной предельной подвижности аэроионов можно выбирать режимные параметры аспирационной камеры.

The paper is devoted to research of the measuring aspiration chamber with blown grids for light aeroions counter. For increase of reliability of the chamber it is offered to execute it as a flat electrode lens. Its mathematical model is suggested. The carried out accounts of an electrical field intensity of a lens and research of trajectories of aeroions movement in its working volume have allowed to establish the necessary constructive sizes of electrodes and to receive the dependences allowing on given limiting mobility of aeroions to choose regime parameters of the aspiration chamber.

В основе работы ионометрической аппаратуры лежит измерение тока, создаваемого аэроионами при их оседании на собирающий электрод измерительной камеры. Целью данной работы является исследование модели аспирационной измерительной камеры с продуваемыми сетками, определение основных аналитических зависимостей, связывающих подвижность аэроионов, осаждаемых на собирающем электроде камеры, с ее геометрическими и режимными параметрами.

В аспирационных камерах с продуваемыми сетками высоковольтный и собирающий электроды выполнены в виде сеток, установленных перпендикулярно воздушному потоку. В этом случае предельную подвижность осаждаемых аэроионов можно вычислить по известной формуле $k_0 = g/E$, (здесь g – скорость воздушного потока; E – напряженность поля между сетками, $E = U/d$; U – напряжение на отталкивающей сетке; d – расстояние между сетками) и рассчитать режимные и конструктивные параметры камеры с электродами, выполненными в виде сеток. Однако, как показал опыт, такие камеры имеют существенный недостаток: электроды-сетки при работе быстро засоряются и потому надежность таких камер невысокая. Более надежна в работе камера, высоковольтный и собирающий электроды которой выполнены в виде набора параллельных пластин (рис.1).

Для рассматриваемой камеры решаются две задачи: 1) определение габаритных размеров электродов; 2) расчет режимных параметров камеры.

При решении первой задачи будем считать, что расстояние между высоковольтным и собирающим электродами ничтожно мало по сравнению с их габаритами и им можно пренебречь. Тогда потенциал поля двухэлектродной электронной линзы (рис.2) с полубесконечными электродами и с граничными условиями в виде $\varphi|_{z<0} = 0$ и $\varphi|_{z>0} = U$ определится из выражения* (верхний знак берется при y > 0, нижний при y < 0)

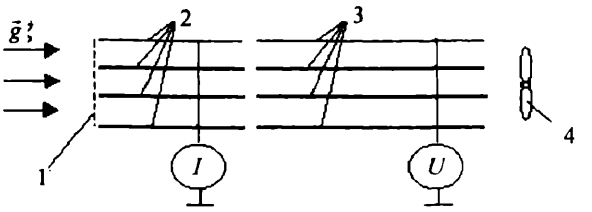


Рис.1. Схема аспирационной камеры

1- собирающие электроды; 2 – высоковольтные электроды; 3 – вентилятор; 4 –экранирующая сетка

$$\varphi = \frac{U}{2} \pm U\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} arctg \frac{\cos \lambda_1 x}{\mathrm{sh}\lambda_1 y}\right],$$

где $\lambda_1 = \pi / a$.

По известному потенциалу поля определим проекции его напряженности:

$$E_x(x,y) = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \pm \frac{U\lambda_1}{\pi} \frac{\sin \lambda_1 x \mathrm{sh}\lambda_1 y}{\mathrm{sh}^2 \lambda_1 y + \cos^2 \lambda_1 x};$$
$$E_y(x,y) = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} = \pm \frac{U}{\pi} \frac{\cos \lambda_1 x \mathrm{ch}\lambda_1 y}{\mathrm{sh}^2 \lambda_1 y + \cos^2 \lambda_1 x}. \quad (1)$$

Анализ зависимостей (1) показал, что при $|y| \geq 1{,}5a$ потенциал поля в линзе практически постоянен: $E_x \approx 0$, $E_y \approx 0$ (рис.3). Отсюда следует, что краевой эффект на входе и выходе камеры будет практически отсутствовать, если длины собирающего и высоковольтного электродов будут выбраны соответственно из условий: $l_{соб} \geq 1{,}5a$ и $l_в \geq 3a$. При этом учитывалось, что перед собирающим электродом обычно устанавливают экранирующую сетку с нулевым потенциалом и потенциал собирающего электрода практически равен нулю.

Переходя к решению второй задачи, запишем выражение для скорости движения аэроиона в измерительной камере:

$$\vec{V} = \vec{g} + k\vec{E}, \quad (2)$$

где $\vec{g}$ – скорость воздушного потока; k подвижность аэроиона; $\vec{E}$ – напряженность электростатического поля камеры.

В декартовых координатах уравнение (2) можно представить в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = kE_x(x,y); \frac{dy}{dt} = g + kE_y(x,y).$$

* *Цырлин Л.Э.* Избранные задачи расчета электрических и магнитных полей. М.: Советское радио, 1977.

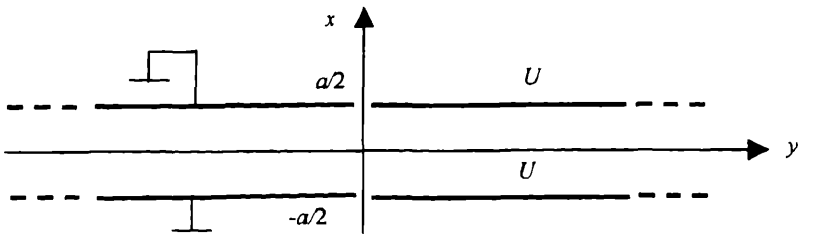


Рис.2. Схема к определению потенциала поля двухэлектродной электронной линзы

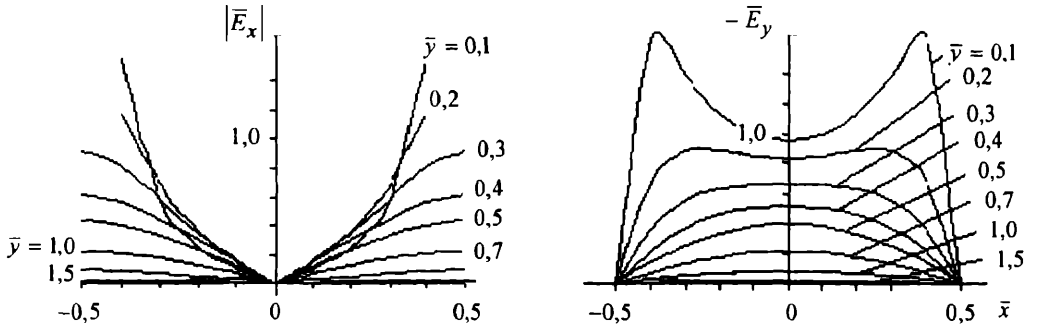


Рис.3. Изменение потенциала поля в линзе

Тогда

$$dy = \frac{g + kE_y}{kE_x} dx. \qquad (3)$$

Уравнение (3) при заданных начальных условиях, т.е. заданных координатах точки входа иона в камеру в виде $x_{нач} = x_0$; $y_{нач} = y_0$, и с учетом выражений (1) описывает траекторию движения положительного иона в камере. В уравнение движения отрицательных ионов напряженности E_x, E_y войдут с обратным знаком. Чтобы сделать его более универсальным, следует перейти от входящих в него размерных величин к безразмерным с помощью следующих замен:

$$\bar{x} = \frac{x}{a}, \quad \bar{y} = \frac{y}{a}, \quad w = \frac{ag}{kU}.$$

Тогда уравнение движения аэроионов в рассматриваемой камере при $\bar{x}_{нач} = \bar{x}_0$ и $\bar{y}_{нач} = \bar{y}_0$ примет вид

$$d\bar{y} = \frac{\frac{1}{w} \pm \frac{\mathrm{ch}\pi\bar{y} \cdot \cos\pi\bar{x}}{\mathrm{sh}^2\pi\bar{y} + \cos^2\pi\bar{x}}}{\pm \frac{\mathrm{sh}\pi\bar{y} \sin\pi\bar{x}}{\mathrm{sh}^2\pi\bar{y} + \cos^2\pi\bar{x}}} d\bar{x}, \qquad (4)$$

Выражение (4) содержит один режимный параметр w и позволяет исследовать его влияние на траекторию движения аэроионов в измерительной камере. Анализ построенных траекторий движения аэроионов показал, что для любой начальной точки с координатами $(\bar{x}_0, \bar{y}_0)$ можно подобрать такое значение параметра $w = w^*$, что ионы с координатами точки входа $\bar{x}_0 < \bar{x} < 0{,}5$ осядут на электроды линзы, а при $0 < \bar{x} < \bar{x}_0$ пролетят мимо.



Рис.4. Зависимость $w^* = f(\bar{x}_0, \bar{y}_0 = -1{,}5)$

В качестве исходных данных для расчета примем начальные координаты траектории положительного иона $\bar{y}_0 = -1{,}5$ и $\bar{x}_0 = 0 \div 0{,}5$ (поскольку линза симметрична относительно оси y диапазон значений $\bar{x}_0$ от 0 до –0,5 не рассматриваем) и конечные координаты траектории отрицательного иона $\bar{x}_{\text{кон}} = 0{,}5$ и $\bar{y}_{\text{кон}} = 0$.

Из полученного графика (рис.4) следует, что предельная подвижность аэроионов в рассматриваемой камере

$$w^* = \frac{ga}{k_0 U} = 1.$$