ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2009. Т. LXII, № 2.

УДК 621.33 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э.В. АБРАМЯН, С.П. ДАВТЯН, С.Н. ЕНГИБАРЯН, В.К. АБРАМЯН

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ГЕНЕРАТОР АЭРОИОНОВ С ВЫСОКОТОЧНОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ И КОНТРОЛЕМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Разработана конструкция высокоэффективного генератора аэроионов с высокоточной регулировкой и контролем производительности.

Ключевые слова: аэроион, ионизатор, электризация, нейтрализация, аспирационный конденсатор, коронный разряд, соленоид.

Известно, что при интенсификации технологических процессов переработки и транспортировки твердых, жидких и порошкообразных диэлектрических материалов имеет место так называемое явление “технологической” электризации физического агента и изолированных от земли частей технологического оборудования. При этом возникающие разряды “статического электричества” (СЭ) могут инициировать воспламенение горючей среды или привести к нарушению нормального режима технологического процесса вследствие адгезионных явлений.

В то же время при необходимости создания искусственного климата в жилищных, производственных и бытовых помещениях в соответствии с санитарными нормами требуется наличие в окружающей воздушной среде отрицательных аэроионов со строго определенной концентрацией (Санитарные нормы и правила 2.2.2.546-96, Россия).

Существующие в настоящее время конструкции генераторов аэроионов в качестве нейтрализаторов СЭ не обладают достаточно высокой производительностью [1-6], а в качестве ионизаторов воздушной среды (разновидности так называемой “люстры Чижевского”) не обеспечивают строгое регулирование и контроль концентрации аэроионов для приведения ее в соответствие с санитарными нормами.

Отличие предлагаемой конструкции генератора аэроионов от существующих заключается в использовании действия магнитного поля на движущийся заряд (силы Лоренца) для увеличения производительности генератора (в случае его использования в качестве нейтрализатора СЭ), а также для регулирования концентрации аэроионов (в случае его использования в качестве ионизатора воздушной среды). При этом с целью контроля концентрации аэроионов используется высокоточное измерительное устройство с аспирационным конденсатором в качестве первичного преобразователя [7].

Схематический вид предлагаемого генератора с устройством для регулирования производительности аэроионов путем воздействия магнитного поля соленоида на траекторию движения аэроионов в промежутке коронного разряда в системе (игла-соосный цилиндр(показан на рис.1.

Выбор базового варианта коронирующей системы “острио - соосный цилиндр” обусловлен характерным распределением напряженности электрического поля коронного разряда в межэлектродном расстоянии при различных диаметрах закругления

коронирующего острия (рис. 2) [8], что позволяет с помощью потока воздуха и “электрического ветра” увеличить вынос ионов из области вблизи некоронирующего электрода и, тем самым, повысить производительность генератора.

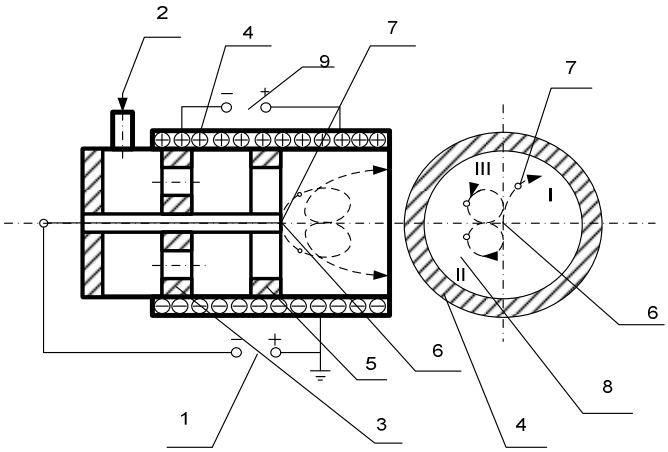

Рис. 1. Генератор аэроионов: 1- источник высокого напряжения; 2 - воздушный поток; 3 - держатель коронирующего острия; 4 - соленоид; 5 - некоронирующий электрод в форме металлического кольца; 6 - коронирующий электрод – острие; 7 - аэроион; 8 - траектория движения аэроиона внутри соленоида; 9 - источник питания соленоида; (I), (II), (III) – формы траектории движения аэроиона

В предлагаемой конструкции генератора под действием магнитного поля (силы Лоренца) соленоида изменяется направление скорости движения аэроиона, и он движется по спирали. При этом, изменяя индукцию магнитного поля *B,* изменяем радиус кривизны траектории движения аэроиона (случаи I, II,III, рис.1), который существенно влияет на вынос (фокусировку пучка) аэроионов и, тем самым, на производительность генератора. Максимальная производительность генератора обеспечивается при условии непопадания аэроионов на некоронирующий электрод в области наименьшего значения вертикальной составляющей напряженности поля коронного разряда, что способствует максимальному выносу аэроиоров из генератора,

Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля *E* на расстоянии от коронирующего острия: 1- диаметр закругления острия $d_1=3.10^{-5}$ (*м*); 2- $d_2=4,7.10^{-3}$ (*м*); P = 1,0 *атм.*; положительная корона

Следует отметить, что регулировать производительность генератора технически гораздо удобнее с помощью низкого напряжения питания соленоида.

Для упрощения расчетов электрических, магнитных и конструктивных параметров генератора пренебрегаем столкновением аэроионов с другими аэроионами и нейтральными молекулами воздуха в межэлектродном пространстве (условия магнетрона).

Из рис. 2 следует, что при $d_к$ и d (где $d_к$- диаметр закругления коронирующего электрода, d – диаметр некоронирующего электрода) основное изменение скорости аэроиона происходит вблизи коронирующего электрода, т. е. приближенно считаем, что в пространстве между электродами аэроион двигается с постоянной скоростью, которая определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{2qu}{m}}\,, \tag{1}$$

где u – напряжение короны; q – заряд аэроиона; m - масса аэроиона.

На аэроион, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца $F_л$:

$$\vec{F}_л = q\left[\vec{v}\vec{B}\right], \tag{2}$$

где $\vec{B}$ - вектор магнитной индукции поля соленоида.

Сила Лоренца в соответствии с системой электродов генератора “игла – соосный цилиндр” и выражением (2) является центростремительной силой, действующей на заряженную частицу, т. е.

$$F_л = F_u = \frac{mv_y^2}{R_c}\,, \tag{3}$$

где v_y – вертикальная составляющая скорости аэроиона; R_c – радиус траектории движения аэроиона (спирали).

Перемещение аэроиона по горизонтальному направлению определяется по формуле

$$h = v_x T\,, \tag{4}$$

где h – шаг спирали (траектории движения аэроиона); v_x – горизонтальная составляющая скорости движения аэроиона; T – период обращения аэроиона по окружности, который определяется по формуле

$$T = 2\pi R_c / v_y\,. \tag{5}$$

Из соотношений (2), (3) следует, что максимальная производительность генератора при заданной напряженности поля коронного разряда обеспечивается выражением

$$q v_y B_{кр} = \frac{m v_y^2}{R_c}\,, \tag{6}$$

где R_c - радиус траектории, равный половине радиуса некоронирующего электрода R; $B_{кр}$ – критическое значение индукции магнитного поля, при котором $R_c = R/2$. $\vec{B}_{кр}$ в зависимости от напряжения коронного разряда и конструктивных размеров генератора определяют опытным путем в соответствии с рис. 3.

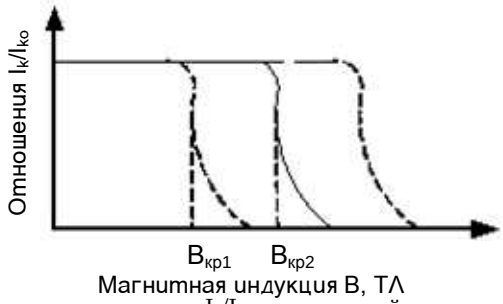

Рис. 3. Зависимость отношения I_k/I_{k0} от магнитной индукции *B*: I_k- ток короны; I_{k0} – базовое значение тока короны

Очевидны следующие соотношения для расчета:

$$B_{кр} = \mu_0 H_{кр}, \qquad (7)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *Гн /м*; $H_{кр}$– критическое значение напряженности магнитного поля, $H_{кр} = k \cdot n \cdot I_{кр}$, k- коэффициент, учитывающий конечность длины соленоида; n- число витков на единицу длины соленоида; $I_{кр}$- ток соленоида.

Приведенные формулы позволяют рассчитать траекторию движения аэроионов в генераторе, тем самым определить степень фокусировки пучка аэроионов на выходе генератора.

Таким образом, выбирая значения тока соленоида $I_c \le I_{кр}$, можно регулировать вынос аэроионов из генератора, т.е. изменять производительность генератора в широком диапазоне.

При практическом использовании генератора аэроионов важное значение приобретает контроль производительности генератора. Такой контроль можно проводить с помощью устройства (рис. 4), позволяющего с достаточной для практики точностью измерять концентрацию аэроионов [5].

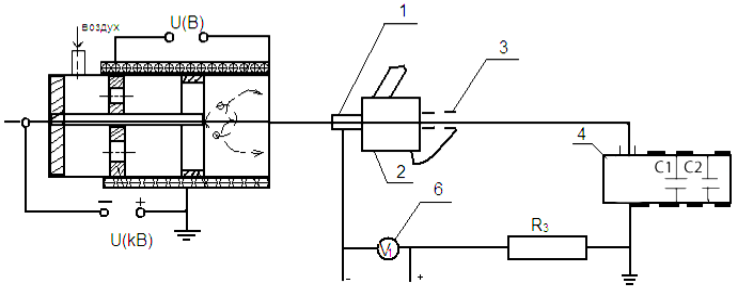

Рис. 4. Генератор аэроионов с устройством для контроля производительности генератора: 1 - аспирационный конденсатор; 2 - камера К; 3 - наружная обкладка с оплеткой кабеля; 4 - электростатический вольтметр V_1; 5- источник питания аспирационного конденсатора; 6 - вольтметр для измерения напряжения на аспирационном конденсаторе

Устройство содержит следующие основные узлы: генератор аэроионов; аспирационный конденсатор коаксиальной конструкции с устройством перемещения по оси X и в плоскости Y-Z; электрическая схема для измерения малых токов приемного электрода аспирационного конденсатора.

Для измерения ионного тока через аспирационный конденсатор используется метод зарядки образцового конденсатора. Основным элементом измерительной части является электростатический вольтметр. Измерительная схема позволяет измерять токи порядка $(10^{-11} \dots 10^{-12})$ *А.*

При больших концентрациях аэроионов $(10^{14} \dots 10^{15})$ $м^{-3}$ и скорости потока воздуха в аспирационном конденсаторе измерение сопряжено с некоторыми трудностями, которые необходимо учитывать: влияние взаимного расталкивания аэроионов одинакового знака, диффузия, флуктуация концентрации аэроионов, наложение внешнего электрического поля. Эти факторы действуют в совокупности, что затрудняет математический анализ этих явлений. Однако при рассмотрении нейтрализации СЭ в конечном счете вопрос сводится к сравнению плотности зарядов на материале с плотностью потока аэроионов из генератора. В этом случае производится лишь оценочный контроль производительности генератора.

Длина собирающего электрода аспирационного конденсатора является определяющим фактором. Ее можно рассчитать по формуле [5]

$$L = \frac{v\left(R^2 - r^2\right)\ln\left(R/r\right)}{2kU}, \qquad (8)$$

где k – подвижность аэроионов.

Концентрация аэроионов в выбранном сечении пространства вне генератора измеряется косвенным методом – по известному расходу воздуха W через аспирационный конденсатор и по току I_k собирающего электрода (коллектора) аспирационного конденсатора в предположении, что коллектор улавливает все аэроионы, вошедшие в сопло наружной обкладки.

Сущность метода измерения заключается в том, что в результате прохождения ионизированного потока воздуха через обкладки заряженного конденсатора на изолированном электроде улавливаются аэроионы, подвижность которых больше некоторой заданной. Измеряя заряд, полученный одной из обкладок конденсатора, и зная напряженность поля, скорость и объем продуваемого воздуха между обкладками конденсатора, можно определить концентрацию аэроионов.

Аспирационный конденсатор состоит из приемного электрода с радиусом *r*, вторичного цилиндрического электрода с радиусом R, камеры, через которую производится отсасывание воздуха, и наружной обкладки, которая вместе с оплеткой кабеля образует охранную (эквипотенциальную) систему для приемного электрода. В этом случае концентрация аэроионов *n* при выходе из генератора по направлениям определяется по формуле

$$n = I_k/eW = 3{,}75\ 10^{23}\ I_k/W\ м^{-3}. \qquad (9)$$

В приведенном выражении расход воздуха W в *л/мин* (согласно градуировке ротаметра ротационного аспиратора) $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл* – заряд аэроиона (однозарядного).

Ток приемного электрода определяется также косвенным методом – по времени зарядки суммарной емкости C:

$$I_k = C[(dU)/(dt)] \approx C[(\Delta U)/(\Delta t)]. \qquad (10)$$

Чтобы пользоваться последней формулой, желательно исключить влияние напряжения собирающего электрода на скорость заряда, что можно обеспечить соответствующим выбором ΔU и C.

Напряжение между электродами аспирационного конденсатора равно

$$U_c = U_k - U_в, \qquad (11)$$

где U_k - напряжение источника; $U_в$ - напряжение, измеренное электростатическим вольтметром, т. е. на емкости C. Так как U_k = const, то по мере зарядки конденсатора C и повышения напряжения $U_в$, напряжение U_c соответственно понижается.

Для исключения влияния U_c предусматривается следующее. На шкале электростатического вольтметра заранее избираются два значения напряжения; разность между ними входит в формулу (10). Напряжение вольтметра $U_в$ устанавливается так, чтобы $U_в = 0{,}5\ (U_{в1} + U_{в2})$.

В результате первый этап заряда (от $U_{в1}$ до $U_{вк}$) протекает несколько быстрее, а второй этап (от $U_{в1}$ до $U_{в2}$), соответственно, несколько медленнее. Общая продолжительность заряда от $U_{в1}$ до $U_{в2}$ занимает практически столько же времени, сколько было бы затрачено на зарядку емкости тем же количеством электричества, но при постоянном $U_в$. Тогда в формуле (10) значение ΔU заменяется выбранным напряжением $U_в$. За счет добавочных образцовых конденсаторов $C_д$ можно установить желательную скорость зарядки. Испытания разработанного генератора аэроионов позволили получить концентрацию аэроионов от 0,6 10^8 $м^{-3}$ до 10^{16} $м^{-3}$ на выходе генератора, что на несколько порядков больше по сравнению с производительностью существующих в настоящее время нейтрализаторов “статического электричества” [1, 2, 4-6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Method and composition for neutralizing static electricity. United States Patent, Brown. et al., December 22, 1998.
2. Jonizer static electricity neutralization, United States Patent, Botez, September 7, 1999.
3. **Абрамян В.К., Терян С.А.** Статическая электризация сыпучих материалов при их промышленной обработке.- Ереван: Айастан, 1976.- 127 с.
4. **Абрамян В.К.** Защита от статического электричества.- Ереван: Айастан,1990.- 290 с.
5. **Шиморда И., Староба И.** Статическое электричество в промышленности.- М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960.- 240 с.
6. **Попов Б.Г**. Статическое электричество в химической промышленности.- М.: Химия, 1971.- 208 с.
7. **Имянитов И.М.** Приборы и методы для измерения электричества атмосферы. - М.: Гос. изд. техн.-теорет. лит., 1957.- 483 с.
8. **Мик Дж., Крегс Дж.** Электрический пробой в газах. - М.: ИЛ, 1954.- 605 с.

Государственный электротехнический ун-т (СПб), Государственный инженерный университет Армении, Ин-т общей и неорганической химии НАН РА, Военная Академия связи (СПб).

Материал поступил в редакцию 20.03.2009.

Է.Վ. ԱԲՐԱՄՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ, Վ.Ղ. ԱԲՐԱՄՅԱՆ

ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ԲԱՐՁՐ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ ՀՍԿՈՒՄ ԱՊԱՀՈՎՈՂ ԲԱՐՁՐ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԱԵՐՈԻՈՆԱՅԻՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ

Դիտարկվում են փոքր չափեր ունեցող, կայծաանվտանգ և բարձր արդյունավետություն ունեցող կայծային պարպման աերոիոնային գեներատորի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը, որը կարող է ծառայել որպես ստատիկ էլեկտրականության չեզոքացուցիչ, իոնիզատոր՝ տարբեր տեխնոլոգիական պրոցեսների ինտենսիվությունը մեծացնելու, որպես օդափոխանակիչի կցորդ՝ արհեստական եղանակ ստեղծելու համար: Գեներատորի կառուցվածքը թույլ է տալիս կարգավորել աերոիոնների բաղադրությունը շրջապատող միջավայրում՝ $0,6.10^8$ *մ*$^{-3}$... $5,0.10^{16}$ *մ*$^{-3}$ տիրույթում: Առաջարկվում է նաև շրջապատող միջավայրում աերոիոնների բաղադրության հսկման սարք:

Առանցքային բառեր, աերոիոն, իոնարար, էլեկտրականացում, չեզոքացում, ասպիրացիոն կոնդենսատոր, կայծային պարպում, սոլենոիդ:

E.V. ABRAMYAN, S.P. DAVTYAN, S.N. YENGIBARYAN, V.K. ABRAMYAN

SUPERFINE-ADJUSTABLE AND PERFORMANCE-CONTROLLABLE HIGH-EFFICIENCY AERO ION GENERATOR

The design and the principle of operation of a small-sized, spark– safe and high–performance corona–discharge aero ion generator are discussed. The device can be used as either a static electricity neutralizer, an independent–operating ionizer or a climatizing attachment to air conditioners. The generator is designed so as to allow the environmental aero ion concentration to be adjusted between the limits $0,6.10^8$ m^{-3} and $5,0.10^{16}$ m^{-3}. A tester for environmental aero ion concentration is also presented.

Keywords: aero ion, ionizer, electrization, neutralizer, aspiration condenser, corona-discharge, solenoid.