

УДК 537.523.9

Электрогидродинамический эффект, получаемый при высокочастотном барьерном разряде в газе

С. И. Мошкунов, С. В. Небогаткин, И. Е. Ребров, В. Ю. Хомич, В. А. Ямщиков

Исследован процесс формирования электрогидродинамического потока в атмосферном воздухе при использовании высокочастотного барьерного разряда, распределенного по поверхности диэлектрика. Рассмотрено влияние изменения параметров полностью твердотельного генератора импульсов с амплитудой напряжения 0—12 кВ, перестраиваемой частотой следования импульсов 10—25 кГц и длительностью импульсов 7 мкс на ток плазменного эмиттера ионов и скоростные характеристики воздушного потока.

PACS: 45.75.-i

Ключевые слова: электрогидродинамический воздушный поток, барьерный разряд, плазменный эмиттер ионов.

Введение

Физическое явление коллективного движения газа, возникающего в результате образования потока ионов, дрейфующих в поле коронного разряда и передающих свой импульс нейтральным компонентам газовой среды при столкновениях, исторически получило название — "электрический ветер" [1—3].

Традиционно электрический ветер применяется в аппаратах электрон-ионных технологий, включая электрофильтры для очистки газовых сред, устройства для электроокраски и нанесения пленочных покрытий на поверхность материалов [1, 4], а также в системах электрической прокачки газов [5—9].

В последние годы к изучению этого явления, которое часто стали называть электрогидродинамическим (ЭГД) эффектом или ионным ветром, проявляется повышенный интерес [10—14]. Он обусловлен возможностью формирования скоростных газовых сред без использования традиционных электромеханических систем, таких как турбины и вентиляторы.

Ионный ветер — многообещающая атмосферная плазменная технология со многими потенциальными применениями в авиации [15—18]. Она позволяет управлять воздушным потоком у

поверхности крыла, уменьшая лобовое сопротивление и затрудняя переход к турбуленции. В последние годы этот эффект был успешно продемонстрирован для контроля за разделением граничного слоя на профилях крыла при низких числах Рейнольдса [15, 16]. Также при решении аэродинамических задач интересны исследования в инфразвуковом ветровом туннеле [17]. В этих случаях ЭГД-поток, направленный вдоль поверхности крыла, создавался барьерным разрядом через диэлектрик [15—18].

В космосе электростатические поля и электрический ветер применяются для сдува пузырей с фильтрующих сеток топливных каналов, в разработках электроракетных двигателей, при создании безлопаточных электрогидродинамических насосов [19].

В большинстве современных компьютеров необходимый отвод тепла обеспечивается за счет воздушного потока, создаваемого вентиляторами. Как правило, используется комбинированная схема охлаждения, в которой воздушный поток направляется на металлический радиатор.

Производительность процессоров постоянно растет, увеличиваются их вычислительные мощности. В результате возрастает выделяемое ими количество тепла, и все более остро встает вопрос об охлаждении компьютерных чипов. В связи с этим компании Intel и Kronos Advanced Technologies совместно с Вашингтонским университетом США (University of Washington) разработали так называемую технологию ионного ветра и электростатические ускорители потока, также известные как электрогидродинамические насосы ионного ветра [20—24]. Средняя скорость воздушного потока в таких устройствах достигает 2 м/с [21, 22].

Особое внимание уделяется экспериментальному исследованию и моделированию теплоотво-

Мошкунов Сергей Игоревич, зав. лабораторией.
Небогаткин Сергей Вячеславович, младший научный сотрудник.
Ребров Игорь Евгеньевич, старший научный сотрудник.
Хомич Владислав Юрьевич, заместитель директора.
Ямщиков Владимир Александрович, зав. лабораторией.
Институт электрофизики и электроэнергетики РАН.
Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 18.
Тел. (499) 135-13-04. E-mail: serg-moshkunov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 мая 2011 г.

© Мошкунов С. И., Небогаткин С. В., Ребров И. Е., Хомич В. Ю., Ямщиков В. А., 2011

да и охлаждения с помощью данных приборов. Численное моделирование предсказывает максимальный конвекционный коэффициент переноса тепла 282 Вт/(м²·К) для исследуемой конфигурации при использовании технологии ионного ветра [24].

Преимущества этого подхода совершенно очевидны: коронный кулер не имеет движущихся частей, работает абсолютно бесшумно и отличается приемлемой экономичностью, а также является очень простым и компактным устройством. Разрабатываемые в настоящий момент прототипы вполне способны обеспечить достаточное охлаждение процессора средней мощности.

Недостатком применения коронного разряда является существование предельной (до ~3 л/с) величины газового потока [8]. В случае использования разряда по поверхности диэлектрика поток образуется только в узкой зоне (~1 см) у поверхности диэлектрика [15—18], что также ограничивает возможность получения ЭГД-потоков с большим расходом газа.

В работе [7] было предложено вместо коронного разряда использовать более мощный высокочастотный барьерный разряд, распределенный по поверхности диэлектрика. На основе этого в [10, 11] был рассмотрен новый подход к получению электрического ветра в газе, основанный на использовании высокочастотного барьерного разряда. Создано устройство для формирования электрического ветра, которое состояло из плазменного эмиттера ионных и коллектора ионов в виде сетки. Исследованы его электроразрядные и газодинамические характеристики. В условиях атмосферного воздуха на площади около 80 см² скорость потока превышала 1 м/с, величина потока составляла более 7 л/с. Были изучены газоразрядные и скоростные характеристики электрического ветра в зависимости от расстояния между эмиттером и коллектором и напряжения смещения на сетке при питании плазменного эмиттера ионов напряжением 12 кВ синусоидальной формы с периодом колебаний 30 мкс.

Целью настоящей работы является исследование влияния величины напряжения и изменения частоты питания плазменного эмиттера на процесс горения барьерного разряда и характеристики электрогидродинамического потока, создаваемого этим разрядом в окружающем воздухе.

Расчет вольтамперных зависимостей ионного пучка и скорости электрогидродинамического потока

В [10, 11] нами была рассмотрена одномерная модель, описывающая стационарный пучок ионов,

дрейфующих во внешнем электрическом поле между эмиттером и коллектором ионов. Также были получены распределения напряженности электрического поля $E(x)$, концентрации ионов $n(x)$ и плотности ионного тока j по оси x , направленной вдоль поля, которые записываются в следующем виде:

$$E(x) = \frac{3}{2} \cdot E_0 \cdot \sqrt{\frac{x}{d} + \delta^2}; \quad (1)$$

$$n(x) = \frac{3}{4} \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot E_0}{e \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{d}{x + \delta^2 d}}; \quad (2)$$

$$j = \frac{9}{8} \cdot \frac{\mu \cdot \epsilon_0 \cdot E_0^2}{d} \cdot (1 - 3\delta^2), \quad (3)$$

где μ — подвижность ионов;

$E_0 = \frac{U_0}{d}$ — средняя напряженность поля в промежутке;

U_0 — напряжение смещения на коллекторе;

d — расстояние между эмиттером и коллектором;

δ — зависящая от начальных условий константа;

e — заряд электрона;

ϵ_0 — электрическая постоянная в системе СИ.

В случае больших концентраций ионов $n(0) \gg \gg 10^9$ см⁻³, определяемых неравенством,

$$\delta = \frac{3 \cdot \epsilon_0 \cdot E_0}{4 \cdot e \cdot n(0) \cdot d} \ll 1. \quad (4)$$

Вольтамперная зависимость тока I от напряжения на коллекторе U_0 описывается выражением:

$$I = S \cdot j = \frac{9}{8} \cdot S \cdot \mu \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{U_0^2}{d^3}, \quad (5)$$

где S — эффективная площадь эмиттера ионов.

Для расчета скорости электрического ветра воспользуемся методикой, изложенной в [3, 12]. Сила, обусловленная действием электрического поля $E(x)$ на пространственный заряд ионов $n(x)$, создает градиент давления в газе:

$$\frac{dp}{dx} = n(x) \cdot e \cdot E(x) = \frac{j(x)}{\mu}. \quad (6)$$

Учитывая выражение (3) для $j(x)$ и соотношение (4), можно определить давление электрических сил у сеточного коллектора:

$$p = \frac{1}{\mu} \int_0^d j(x) dx = \frac{9}{8} \cdot \epsilon_0 \cdot E_0^2. \quad (7)$$

Величину p у сетки можно также представить в виде:

$$p = \rho \cdot v^2, \quad (8)$$

где ρ — плотность газа в межэлектродном промежутке;

v — скорость газового потока.

Приравнявая выражения (7) и (8), находим:

$$v = \left(\frac{9}{8} \cdot \frac{\epsilon_0}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot E_0. \quad (9)$$

Полагая $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, а $\rho = 1,2928$ кг/м³, для воздуха при комнатных условиях [25] получаем, что

$$v = 0,28 \cdot E_0, \quad (10)$$

где v — выражено в м/с, а E_0 — в кВ/см.

Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки

Для экспериментального исследования ЭГД потока применялась схема, изображенная на рис. 1. Она была подробно описана в [10, 11]. В данных экспериментах использовался плазменный эмиттер (ПЭ) ионов с высокочастотным барьерным разрядом, распределенным по поверхности диэлектрика. Его конструкция включала диэлектрическую трубку 1 из керамики Al_2O_3 диаметром 10 мм и длиной 30 см. Внутри керамической трубки вставлялась медная трубка 2, служившая внутренним электродом. Внешним электродом являлся медный желоб 3 длиной 20 см. На диэлектрическую трубку и желоб наматывалась медная проволока 4 диаметром 0,5 мм. Шаг намотки составлял 5 мм.

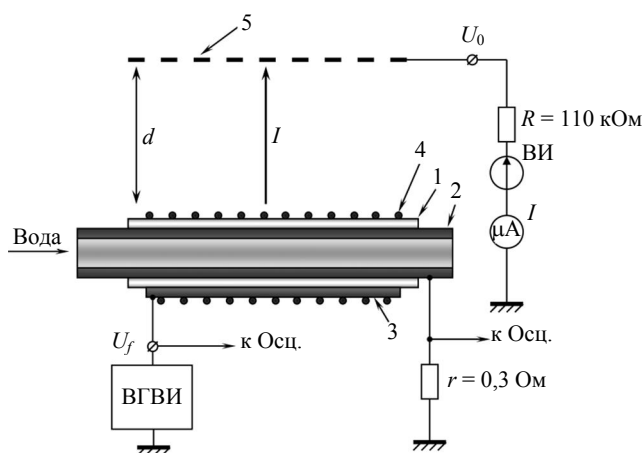


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 — диэлектрическая трубка (из керамики Al_2O_3); 2 — медная трубка (внутренний электрод); 3 — медный желоб (внешний электрод); 4 — медная проволока; 5 — металлическая сетка с прозрачностью $\sigma = 0,7$

Высокочастотное напряжение $U_f = 0—12$ кВ прикладывалось между внутренним и внешним электродами плазменного эмиттера. При этом на внешней поверхности диэлектрической трубки возникал плазменный слой барьерного разряда. Напряжение U_f измерялось с помощью высоковольтного щупа Tektronix P6015A, а ток барьерного разряда I_f — малоиндуктивным омическим шунтом $r = 0,3$ Ом. Осциллограммы напряжения и тока регистрировались осциллографом LeCroy WaveSurfer 432.

Выделявшееся при работе ПЭ тепло отводилось с помощью воды, протекавшей через медную трубку 2.

Над ПЭ располагалась металлическая сетка 5 с прозрачностью $\sigma = 0,7$, которая являлась коллектором ионного пучка. Расстояние d от коллектора до эмиттера варьировалось. Через ограничительное сопротивление $R = 110$ кОм к сетке прикладывалось постоянное напряжение положительной полярности $U_0 = 0—22$ кВ от высоковольтного источника ВИ. Под действием внешнего поля $E(x)$ заряженные частицы вытягивались из плазмы барьерного разряда и двигались в сторону сетки. Возникающий при этом ионный ток I регистрировался микроамперметром.

Скоростные характеристики электрогидродинамического потока измерялась с помощью термоанемометра АТТ-1004. Измерения проводились на расстоянии ~ 5 см от сеточного коллектора по направлению потока.

Полностью твердотельный высокочастотный генератор высоковольтных импульсов

Для питания плазменного эмиттера ионов использовался специально разработанный высокочастотный генератор высоковольтных импульсов (ВГВИ) на основе полумостовой схемы, нагруженной на электроды ПЭ. Функциональная схема генератора показана на рис. 2. Его особенностью является использование высоковольтного полупроводникового коммутатора, предложенного в [26].

ВГВИ выполнен на основе полностью твердотельной базы [27, 28]. Блок генератора содержит следующие основные узлы: источник постоянного напряжения (ИПН) на 16 кВ; два одинаковых высоковольтных твердотельных ключа (ВТК) со схемами управления (СУ); генератор задающих импульсов (ГЗИ); ограничивающие ток резистор R_1 и индуктивность L_1 , составляющие с емкостью плазменного эмиттера колебательный контур.

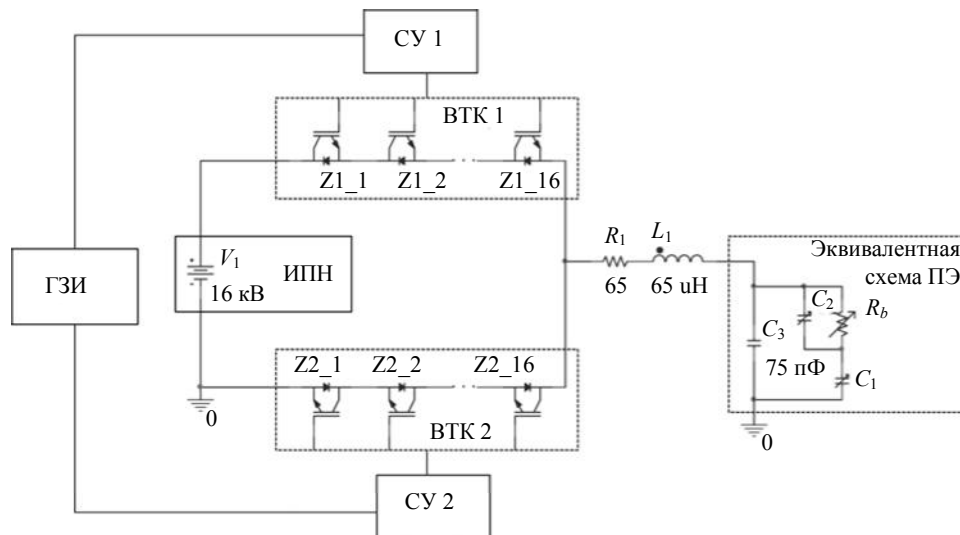


Рис. 2. Функциональная схема высокочастотного генератора высоковольтных импульсов:
 R_b — переменное сопротивление барьерного разряда; C_1 и C_2 — переменные емкости, образующиеся при разряде; 75 пФ — емкость электродной системы

Каждый из ВТК является полностью управляемым (включение и выключение) и состоит из 16 биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT — Insulated Gate Bipolar Transistor), включенных последовательно ($Z1_1$ — $Z1_{16}$). Управление транзисторами осуществляется посредством трансформаторов (на рис. 2 не показаны). Такая схема включения транзисторов IGBT позволяет реализовать достаточно простую схему генератора и получить высокую частоту повторения высоковольтных импульсов, перестраиваемую в широких пределах.

При подаче импульсов управления генератором ВТК открываются и высоковольтные импульсы прикладываются к электродам плазменного эмиттера. На рис. 2 также показана эквивалентная электрическая схема ПЭ.

На выходе ВГВИ формировались квазипрямоугольные импульсы положительной полярности с изменяемой амплитудой напряжения $U_f = 0$ —12 кВ, длительностью $t \approx 7$ мкс, перестраиваемой частотой следования импульсов $f = 10$ —25 кГц и высокочастотной составляющей на фронте напряжения, форма которой варьировалась.

Результаты экспериментов

В экспериментах исследовалось влияние режимов питания плазменного эмиттера (амплитуды напряжения, длительности и частоты импульсов твердотельного генератора) на характеристики высокочастотного барьерного разряда и ток ионного пучка, а также на скорость и пространственный профиль скоростей электрогидродинамического потока в окружающем воздухе.

На рис. 3, *а* показана типичная осциллограмма напряжения U_f , а на рис. 3, *б* — осциллограмма

тока I_f плазменного эмиттера. Ток барьерного разряда начинается на фронте и спаде высоковольтных импульсов.

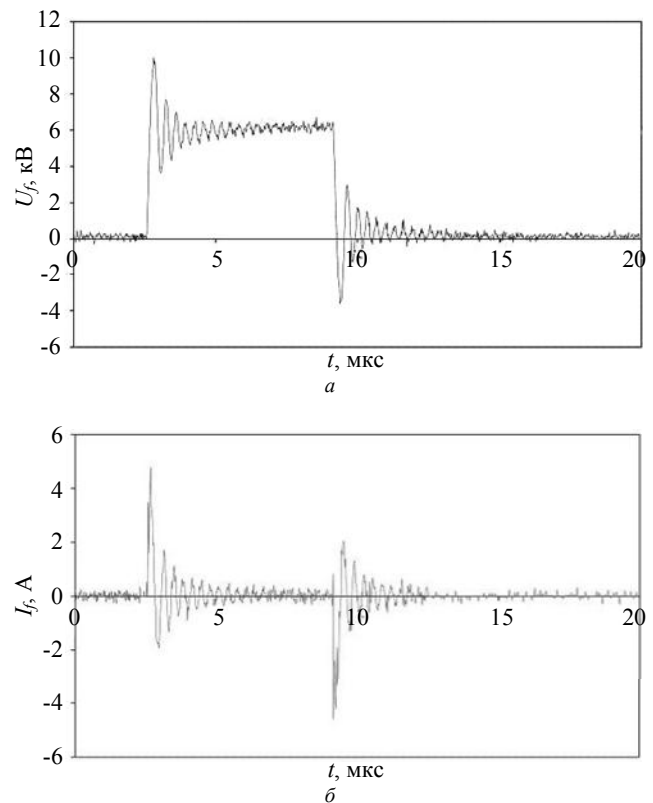


Рис. 3. Типичные осциллограммы напряжения U_f (а) и тока I_f (б) плазменного эмиттера

На рис. 4 изображены характерные фотографии свечения плазмы барьерного разряда на поверхности диэлектрической трубки плазменного эмиттера при разных значениях U_f и f . Напряжение зажигания барьерного разряда, при котором на ПЭ появлялся слабо светящийся плазменный слой,

составляло ~ 4 кВ. Как видно, чем выше U_f и f , тем большую поверхность занимает разрядная плазма и, следовательно, больше эффективная площадь эмиссии ионов S .

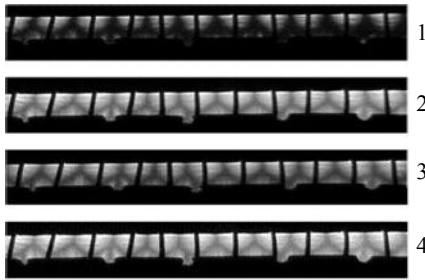


Рис. 4. Фотографии свечения плазмы барьерного разряда на поверхности эмиттера ионов при:
1 — $U_f = 6$ кВ и $f = 20$ кГц; 2 — $U_f = 10$ кВ и $f = 20$ кГц;
3 — $U_f = 10$ кВ и $f = 10$ кГц; 4 — $U_f = 10$ кВ и $f = 25$ кГц

На рис. 5 показаны экспериментальные зависимости среднего тока ионного пучка I от напряжения на коллекторе U_0 при неизменном расстоянии между эмиттером и коллектором $d = 18$ мм и разных значениях U_f и f . Ток I увеличивается $\sim U_0^2$, что согласуется с формулой (5). Рост $I = j \cdot S$ с повышением U_f и f , очевидно, обусловлен соответствующим увеличением S (см. рис. 4).

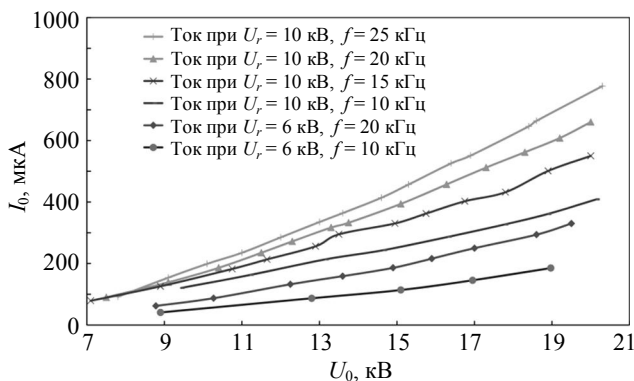


Рис. 5. Экспериментальные зависимости тока ионного пучка I от напряжения на коллекторе U_0 при расстоянии $d = 18$ мм и разных значениях U_f и f

Измеренные зависимости скорости ЭГД-потока v от напряжения U_0 для экспериментальных условий, соответствующих рис. 5, приводятся на рис. 6. Величина v также растет с повышением U_0 , U_f и f , но, в отличие от ионного тока, скорость потока прямо пропорциональна U_0 [10, 11].

Профили распределения скорости воздушного потока в плоскости, перпендикулярной потоку, представлены на рис. 7. Наблюдается некоторая асимметрия поперечного профиля v относительно оси трубки ПЭ. Возможно, она связана с влиянием измерительного датчика на вектор скорости потока. В приведенном случае при напряжении 20 кВ

величина газового потока (объем газа, проходящего в единицу времени) в поперечном сечении с $v = 1$ м/с составляет $W \approx 4$ л/с, что выше предельной величины потока, достигаемой при использовании коронного разряда при напряжении 30 кВ [8].

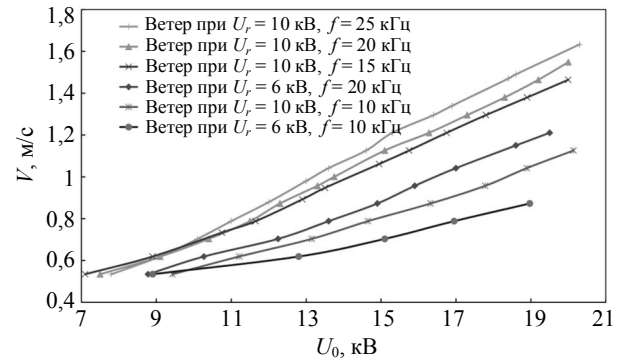


Рис. 6. Экспериментальные зависимости скорости воздушного потока v от U_0 при $d = 18$ мм и разных значениях U_f и f

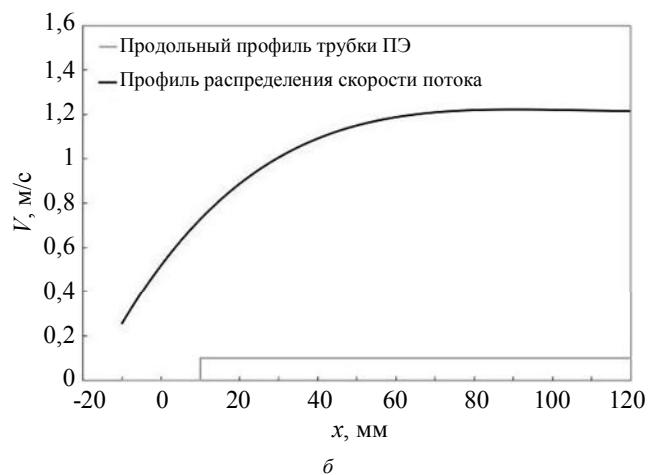
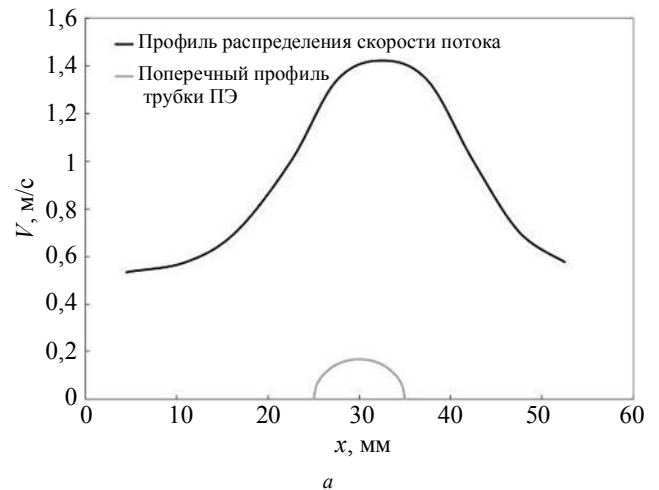


Рис. 7. Профили распределения скорости в плоскости, перпендикулярной воздушному потоку:
а — поперек и б — вдоль трубки ПЭ
($U_f = 10$ кВ, $f = 15$ кГц и $d = 18$ мм)

На рис. 8 показаны экспериментальные зависимости v от величины $E_0 = U_0/d$ при трех значениях

$d = 18, 20$ и 22 мм ($U_f = 10$ кВ и $f = 15$ кГц). Данные точки лежат на одной прямой, что согласуется с формулой (10). Однако наклон $v/E_0 \approx 0,14$ м·см/(с·кВ) этих экспериментальных зависимостей в ~ 2 раза ниже расчетного значения $\approx 0,28$ м·см/(с·кВ) (см. формулу 10). Вероятно, это связано с принятыми в расчетах допущениями о плоской геометрии ионного пучка, а также о независимости j от $n(0)$ и от времени, что, конечно, является довольно грубым приближением.

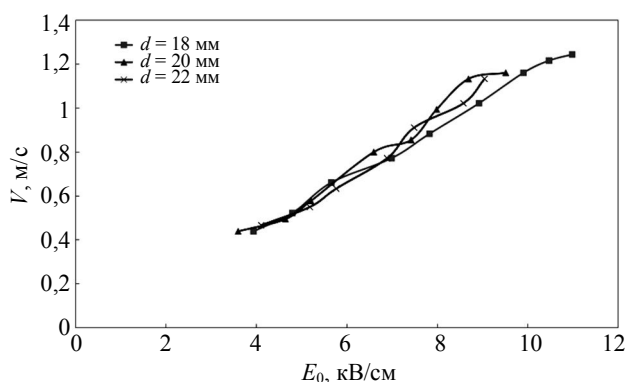


Рис. 8. Экспериментальные зависимости скорости v от средней напряженности поля $E_0 = U_0/d$ при трех значениях $d = 18, 20$ и 22 мм ($U_f = 10$ кВ и $f = 15$ кГц)

Поскольку $v \sim E_0$, то максимальная скорость воздушного потока v_{max} должна быть ограничена максимальным значением E_0^{max} , определяемым пробивной напряженностью поля между эмиттером и коллектором E_{br} . В коронирующем воздушном промежутке с неоднородным полем $E_{br} = 10—20$ кВ/см [13]. В наших условиях поле $E(x)$ максимально на коллекторе $E(d)$ (см. формулу 1). Полагая, что $E(d) = E_{br}$, получим оценку электрической прочности для $E_0^{max} = 6,7—13,3$ кВ/см. В случае $d = 1,8$ см, $U_f = 10$ кВ, $f = 25$ кГц пробой происходил при $U_0 > 20$ кВ, что соответствовало $E_0^{max} \approx 11,1$ кВ/см и $v^{max} \approx 1,6$ м/с.

Заключение

Исследован электрогидродинамический поток в воздухе, формируемый эмиттером ионов на основе барьерного разряда по поверхности диэлектрика. Экспериментально установлено, что увеличение напряжения и частоты питания плазменного эмиттера приводит к повышению площади эмиссии ионов, а также к росту тока ионов и скорости воздушного потока. Показано, что скорость электрогидродинамического потока определяется средней напряженностью внешнего электрического поля, а ее максимальное значение — полем пробоя между эмиттером и коллектором. Это дает возможность снижения рабочего напряжения на коллекторе за

счет уменьшения расстояния между эмиттером и коллектором. Продемонстрирована возможность управления электрогидродинамическим потоком с помощью внешнего электрического поля, а также изменением напряжения и частоты питания барьерного разряда.

Литература

1. *Капцов Н. А.* Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. — М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1947.
2. *Stuetzer M.* // Journal of Applied Physics. 1959. V. 30. No. 7. P. 984.
3. *Robinson M.* // AIEE Transaction, Comm. and El. 1961. V. 80. P. 143.
4. *Верещагин И. П.* Коронный разряд в аппаратах электрон-ионной технологии. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. *Горкин С. Б., Козлов Б. А., Соловьев В. И.* // Известия РАН. Физическая серия. 1994. Т. 58. № 2. С. 42.
6. *Шуаибов А. К.* // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 9. С. 84.
7. *Хомич В. Ю., Ямщиков В. А.* Формирование электрического ветра с помощью высокочастотного барьерного разряда / Препринт ЦНПИПЭ РАН. — М.: РИИС ФИАН, 2003.
8. *Козлов Б. А., Соловьев В. И.* // ЖТФ. 2007. Т. 77. № 7. С. 70.
9. *Козлов Б. А., Соловьев В. И.* // Там же. 2006. Т. 76. № 7. С. 1.
10. *Небогаткин С. В., Хасая Р. Р., Хомич В. Ю., Ямщиков В. А.* // Прикладная физика. 2009. № 4. С. 111.
11. *Миколуцкий С. И., Небогаткин С. В., Хасая Р. Р., Хомич В. Ю., Ямщиков В. А.* Мощный источник электрического ветра на основе высокочастотного барьерного разряда в газе / Препринт ИЭЭ РАН. — СПб.: ИЭЭ РАН, 2009.
12. *Кулешов П. С.* // Электронный научный журнал "Исследовано в России" <http://zhurnal.appe.relarn.ru/articles/2005/227.pdf>. С. 2336.
13. *Berard P., Lacoste D. A., Laux C. O.* Measurements and Simulations of the Ionic Wind Produced by a DC Corona Discharge between Cylindrical Wires // Proceedings of 28th ICPIG. July 15—20. 2007. Prague. Czech Republic.
14. *Lacoste D. A., Pai D., Laux C. O.* Ion Wind Effect in a Positive DC Corona Discharge in Atmospheric Pressure Air // AIAA paper 2004-0354. 42nd Aerospace Sciences Meeting & Exhibit. Jan. 2004. Reno. Nevada. USA.
15. *Stephen P., Wilkinson.* Investigation of an Oscillating Surface Plasma for Turbulent Drag Reduction // AIAA Paper 2003—1023. Proc. of the 41st AIAA Aerospace Sciences Meeting & Exhibit. Jan. 6—9. 2003. Reno. Nevada. USA.
16. *Reece Roth J., Xin Dai.* Optimization of the Aerodynamic Plasma Actuator as an Electrohydrodynamic (EHD) Electrical Device // 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 9—12 January. 2006. Reno, Nevada. USA. P. 1—28.
17. *Magnier P., Hong D., Leroy-Chesneau A., Pouvesle J.-M., Hureau J.* // J. Electrostat. 2007. V. 65. Issues 10—11. P. 655.
18. *Bernard N., Balcon N., Moreau E.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 2008. V. 41. P. 5.
19. *Алтуничи В. А.* // Тезисы докл. XXVI Академические чтения по космонавтике. Секция 7. Москва. 2002.
20. *Yang F., Jewell-Larsen N. E., Brown D. L., Pendergrass K., Parker D. A., Krichtafovitch I. A., Mamishev A. V.* Corona driven air propulsion for cooling of electronics // XIII-th International Symposium on High Voltage Engineering. 2003. Rotterdam. Netherlands. P. 1—4.
21. *Karpov S. V., Krichtafovitch I. A.* Electrohydrodynamic Flow Modeling Using FEMLAB // Proceedings of the COMSOL Multiphysics User's Conference. 2005. Boston. USA.

22. Jewell-Larsen N. E., Karpov S. V., Krichtafovitch I. A., Jayanty V., Hsu C. P., Mamishev A. V. Modeling of Corona-Induced Electrohydrodynamic Flow with COMSOL Multiphysics // Proceedings of ESA Annual Meeting on Electrostatics. 2008.

23. Go D., Garimella S., Fisher T., Mongia R. K. // Journal of Applied Physics. 2007. V. 102. P. 053302.

24. Ran H., Jewell-Larsen N. E., Zhang Y., Honer K. A. // Thermal News. 2008. V. 11. No. 1. P. 23.

25. Таблицы физических величин. Справочник под ред. акад. И. К. Кикоина. — М.: Атомиздат, 1976.

26. Иванов Е. В., Мошкунев С. И., Хомич В. Ю. Генератор высоковольтных наносекундных импульсов на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором // Препринт ИПЭФ РАН. — М.: ИПЭФ РАН, 2004.

27. Грязнов О. В., Иванов Е. В., Малашин М. В., Мошкунев С. И., Хомич В. Ю. // Прикладная физика. 2008. № 5. С. 32.

28. Vartapetov S. K., Gryaznov O. V., Malashin M. V., Moshkunov S. I., Nebogatkin S. V., Khasaya R. R., Khomich V. Yu., Yamschikov V. A. // Quantum Electronics. 2009. V. 39. No. 8. P. 714.

Electrohydrodynamic effect obtained in gas with a high-frequency dielectric barrier discharge

S. I. Moshkunov, S. V. Nebogatkin, I. E. Rebrov, V. Yu. Khomich, V. A. Yamschikov

Institute for Electrophysics and Electric Power of the Russian Academy of Sciences

18 Dvortsovaya naberezhnaya, Sankt-Peterburg, 191186, Russia

E-mail: rc@iperas.nw.ru

The formation of an electrohydrodynamic flow in ambient air was investigated with high-frequency dielectric barrier discharge. We researched the influence of the solid-state pulse generator parameters (a peak voltage of 0—12 kV, repetition rate of 10—25 kHz, and a pulse duration of 7 μs) on an ion current of the plasma emitter and speed characteristics of the airflow.

PACS: 45.75.-i

Keywords: electrohydrodynamic air flow, dielectric barrier discharge, ion plasma emitter.

Bibliography — 28 references.

Received May 20, 2011

* * *