

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 5, Number 309 (2016), 173 – 179

УДК 537.523.3:541.13

**Sh.A. Bahtaev, G.V. Bochkareva, G.D. Musapirova, F.R. Avhadieva**Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty  
[mgulz1@yandex.ru](mailto:mgulz1@yandex.ru)**METHOD FOR DETERMINING THE RADIUS OF CURVATURE  
OF THE DISCHARGE ELECTRODES SURFACE**

**Abstract.** The design of determining the radius of curvature of the discharge electrode surface method is based on the results of researches of the high-frequency (HF) conductivity of the plasma sheath of corona discharge, when the discharge gap is provided a large DC voltage and a small HF AC voltage simultaneously. Method determining the radius of curvature of the corona electrode has been discovered, and it is actualized by providing extra high-voltage between electrodes, with amplitude less than DC high-voltage, and by regulating its frequency resonant oscillation process mode is plasma sheath of corona discharge. Having equal value of HF conductivity of discharge gap and corona discharge or without it, the radius of curvature of the discharge electrode surface is determined by calibration curve of equivalent radiuses, received from the values of resonance frequencies.

**Keywords:** corona discharge, radius of curvature, RF conductivity, microelectrodes, crown cover, electronic component.

**Ш.А. Бахтаев, Г.В. Бочкарева, Г.Д. Мусапирова, Ф.Р. Авхадиева**

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА КРИВИЗНЫ  
ПОВЕРХНОСТИ КОРОНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОДА**

**Аннотация.** В основу разработки способа определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода положены результаты исследований высокочастотной (ВЧ) проводимости плазмы чехла коронного разряда. Когда на разрядный промежуток подаются одновременно большое постоянное напряжение и малое ВЧ переменное напряжение. Разработан способ определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода, который осуществляется путем подачи между электродами дополнительного высоковольтного напряжения с амплитудой, меньшей величины высоковольтного постоянного напряжения и регулируя его частоту, создают в плазме чехла коронного разряда режим резонансного колебательного процесса. Затем при равенстве значений высокочастотных проводимостей разрядного промежутка с коронным разрядом и без него определяют радиус кривизны поверхности коронирующего электрода по градуировочной кривой эквивалентных радиусов, полученной в зависимости от значений резонансных частот.

**Ключевые слова:** коронный разряд, радиус кривизны, ВЧ-проводимость, микроэлектроды, чехол короны, электронная составляющая.

Решение задачи по определению радиуса кривизны коронирующей поверхности произвольной формы является чрезвычайно сложным и поэтому разрабатываются приближенные и полуэмпирические методы определения начальных напряженностей поля для электродов различной геометрии [1].

Одним из возможных подходов к исследованию коронного разряда является изучение особенностей его характеристик при приложении к разрядному промежутку одновременно постоянного, и малого по величине высокочастотного (ВЧ) переменного напряжения. Зондирование этого промежутка переменным напряжением высокой частоты с малой амплитудой

позволяет исследовать динамические характеристики коронирующего промежутка и, в частности, определить зависимости ВЧ-проводимости коронного разряда от частоты переменного напряжения. Этим методом удалось установить области частот аномальной проводимости короны, тесно связанных с основными физическими параметрами зоны коронирующего слоя (чехла короны) [2].

В нашем случае главным является создание резонансных колебательных процессов в плазме чехла коронного разряда путем регулирования частоты высокочастотного напряжения и определения значения резонансной частоты, зависящей от радиуса кривизны коронирующей поверхности, причем измерение резонансной частоты производится при соблюдении равенства высокочастотных проводимостей разрядного промежутка при присутствии  $q_d$  и при отсутствии  $q_e$  коронного разряда. При подаче между электродами дополнительного высокочастотного напряжения с амплитудой, меньшей величины высоковольтного постоянного напряжения и регулируемой частотой, создают в плазме чехла коронного разряда режим резонансного колебательного процесса. Затем при равенстве значений высокочастотных проводимостей разрядного промежутка с коронным разрядом и без него определяют радиус кривизны поверхности коронирующего электрода по градуировочной кривой эквивалентных радиусов, полученных в зависимости от значений резонансных частот.

Прежде чем приступить к рассмотрению способа определения радиуса кривизны коронирующей поверхности произвольной формы, чтобы установить корректность применения его для решения данной задачи необходимо проверить его для электродов с простой геометрической формой, например, соосные цилиндры.

Для сравнения измеренных значений толщины ( $L_e$ ) чехла короны по данному способу может служить, в первом приближении, значение толщины коронирующего слоя, определяемого по формуле Пика [3]. В нормальных атмосферных условиях ( $\delta=1$ ) она показывает, что при зажигании коронного разряда напряженность электрического поля на расстоянии  $\Delta=0,308\sqrt{r_0}$  (см) от коронирующего электрода остается постоянной для любых  $r_0$  и равной 31 кВ/см. Пренебрегая влиянием объемного заряда в коронирующем слое ( $E_0r_0=Er$ ), действительно получим:

$$\Delta = \frac{E_0 r_0}{E} - r_0 = \frac{E \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0}}\right) r_0}{E} - r_0 = 0,3\sqrt{r_0}, \quad (1)$$

что указывает на не зависимость толщины слоя от силы тока разряда. По-видимому, формула (1) справедлива только в том случае, когда выполняется условие  $E_0r_0=Er$ .

Для нас наибольший интерес представляет область частот когда  $q_d=q_e$ , что, в первую очередь, связано с электронной составляющей тока в чехле коронного разряда. В этом случае как бы наступает резонанс плазмы в чехле короны, т.е. сопротивление зоны чехла короны к переменному напряжению становится минимальным (резонанс напряжения), и значение  $q_d$  сравнится с  $q_e$ . Установлено, что частота  $f_0$ , при которой  $q_d-q_e=0$ , очень чувствительна к изменениям радиуса кривизны коронирующей поверхности и току коронного разряда. Это означает, что  $f_0$ , в первую очередь, будет зависеть от скорости дрейфа электронов, их плотности и изменения длины свободного пробега электронов в коронирующем слое разрядного промежутка.

При сравнимых временах пробега электронов и полупериода зондирующего напряжения наблюдается уже снижение  $q_d$  до отрицательных значений. Для расчета времен пробега в первом приближении могут быть взяты расстояния  $0,3\sqrt{r_0}$ . Но при наложении переменного напряжения из-за колебательного движения электронов внешняя граница коронирующего слоя может быть сдвинута дальше от проволоки. Поэтому более справедливо определять сдвиг кажущейся границы, исходя из значений полупериодов переменного напряжения  $E_{\sim}$ .

Распределение напряженности поля переменного напряжения в цилиндрической системе описывается формулой

$$E_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{(r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}, \quad (2)$$

где  $L_e$  – толщина коронирующего слоя.

Для времени пробега электронами расстояния  $L_e$ , справедливо

$$t = \frac{L_e(r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}{k_e U_0}, \quad (3)$$

приравнявая  $t=T/2$  и обозначая частоту  $f_0$  при  $q_d=q_e$ , определим по формулам (2), (3) зависимость  $L_e$  от  $f_0$

$$\frac{1}{2f_0} = \frac{L_e(r_0 + L_e) \ln \frac{R}{r_0}}{k_e U_0 \sqrt{2}}, \quad (4)$$

где  $U_0$  – действующее значение переменного напряжения, которое равно  $\sim 10, \sim 30$  В.

Решение уравнения (4) находим в виде

$$L_e - \frac{r_0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{r_0}{2}\right)^2 + \frac{k_e U_0 \sqrt{2}}{2 f_0 \ln \frac{R}{r_0}}}, \quad (5)$$

подставляя значение  $k_e=540 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  и пренебрегая  $\left(\frac{r_0}{2}\right)^2$ , получаем окончательное выражение

$$L_e = -\frac{r_0}{2} \pm 19,7 \sqrt{\frac{U_0}{f_0 \ln \frac{R}{r_0}}}, \quad (6)$$

где  $L_e, R, r_0$  – в см;  $U$  – в вольтах;  $f_0$  – в герцах.

Таким образом, при постоянстве значения тока коронного разряда и при известных значениях  $R, r_0, U_0, k_e$  и  $f_0$  выведенная расчётная формула позволяет определить толщину чехла короны для данной конфигурации электродов. При других размерах и формах электродной системы также выводится расчётная формула для определения  $L_e$ , исходя из распределения электрического поля и зоны дрейфа электронов в области с напряженностью поля 31 кВ/см (минимальное пробойное напряжение между электродами на расстоянии 1 см).

Экспериментальные значения  $f_0$  были определены для коронного разряда в цилиндрической системе электродов, когда  $R=0,2$  см,  $U_0=10$  В,  $I=20$  мкА, а для  $k_e=540 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  принято его среднее значение в чехле короны при нормальных условиях атмосферного воздуха в Алматы ( $\rho=690$  мм рт. ст.,  $T=20^\circ\text{C}$ ).

Выражение (6) позволяет произвести качественные оценки значения  $L_e$  с расстоянием  $0,3\sqrt{r_0}$ . Расчеты показывают, что величина  $L_e$  близка к  $0,3\sqrt{r_0}$  при частотах  $f_0$ , хотя наблюдается  $L_e > 0,3\sqrt{r_0}$  с уменьшением диаметра коронирующей проволоки. Например,  $L_e=0,029$  см для значения  $R=0,2$  см,  $r_0=0,005$  см,  $f_0=1070$  кГц,  $U_0=10$  В, а расстояние  $0,3\sqrt{r_0}$  равно 0,021 см. При уменьшении радиуса  $r_0=0,001$  см,  $L_e=0,022$  см  $0,3\sqrt{r_0}=0,0095$  см.

В таблице 1 приведены полученные значения  $f_0$  для различных  $r_0$  и расчетные значения толщины чехла короны  $L_e$  по формулам (6) и  $0,3\sqrt{r_0}$ .

Таблица 1 – Расчетные значения  $L_e$  для различных  $r_0$

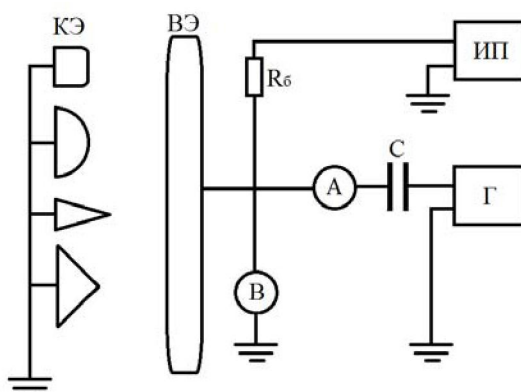
$r_0, \text{ см}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
$f_0, \text{ Гц}$	$1450 \cdot 10^{-3}$	$1250 \cdot 10^{-3}$	$810 \cdot 10^{-3}$	$300 \cdot 10^{-3}$
$L_e, \text{ см}$	$20,63 \cdot 10^{-3}$	$24,15 \cdot 10^{-3}$	$30,1 \cdot 10^{-3}$	$56,13 \cdot 10^{-3}$
$0,3\sqrt{r_0}, \text{ см}$	$6,71 \cdot 10^{-3}$	$11,62 \cdot 10^{-3}$	$16,43 \cdot 10^{-3}$	$21,21 \cdot 10^{-3}$

Полученные данные для  $L_e$  показывают, что резонанс плазмы чехла короны наступает при различных частотах в зависимости от значений  $r_0$ . Которые определяют, в первую очередь, величину толщины коронирующего слоя (чехла) коронного разряда. Как и следовало ожидать, значение  $L_e$ , полученные по разработанному способу намного превышают для того же ряда

радиусов  $r_0$  расчетные данные по формуле  $0,3\sqrt{r_0}$ . Как было сказано выше, это связано с появлением раскочки электронов высокочастотным полем, что ведет к интенсификации ионизационных процессов в чехле короны.

Методика определения ВЧ-проводимости ( $q_d$ ) коронного разряда от частоты переменного напряжения была следующей: сначала измерялся емкостной ток через коронноразрядный промежуток при подаче переменной составляющей напряжения во всем диапазоне частот (от 0,2 до 1,6 МГц). Затем, на коронноразрядный промежуток подавался высокий потенциал и при определенной, заранее установленной величине постоянного тока коронного разряда, производилось измерение суммарного сигнала – переменной составляющей тока в том же диапазоне частот. Соответствующая емкостная составляющая тока вычиталась из суммарной, и по этой разности строились кривые ВЧ-проводимости короны в зависимости от частоты переменного напряжения. ВЧ-проводимость разрядного промежутка определялась отношением значения переменной составляющей тока короны к величине приложенного переменного напряжения. При построении частотной зависимости ВЧ-проводимости короны по арифметической разности между суммарным током и током смещения (емкостной составляющей) было установлено, что значения  $q_d$  могут быть больше или меньше, или равно по значению ВЧ-проводимости разрядного промежутка при отсутствии постоянного тока короны ( $q_0$ ) [4].

При определении радиуса кривизны поверхности электрода произвольной формы, постоянное высокое и переменное высокочастотное напряжения подаются на второй электрод в виде плоского диска ( $D \sim 2$  см), близко расположенного (4 – 5 мм) к коронирующему электроду (рисунок 1). От генератора типа ГС-100И подается на разрядный промежуток переменное синусоидальное напряжение с регулируемой частотой от 200 Гц до 1,6 МГц, высоковольтное напряжение подается от высоковольтного источника типа ВС-23. Параметры высокочастотного напряжения изменяются с помощью микроамперметра и милливольтметра переменного напряжения. Амплитуда переменного высокочастотного напряжения выбиралась в пределах от 2 до 100 В в зависимости от крутизны характеристики положительной короны и геометрических размеров разрядного промежутка.



КЭ-коронирующие электроды различной формы; ВЭ-внешний электрод;  $R_b$ -балластное сопротивление; А-микроамперметр переменного напряжения; В-милливольтметр переменного напряжения; С-разделительный конденсатор; ИП-источник питания; Г-высокочастотный генератор

Рисунок 1 – Схема для определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода

Коронный разряд возникает на вершине поверхности и при дальнейшем увеличении напряжения распространяется по остальной части поверхности. Для определения начальной напряженности коронного разряда в случае электродов произвольной формы обычно пользуются связью между изменением напряженности электростатического поля в непосредственной близости от поверхности электрода и радиусами кривизны этой поверхности [1]:

$$-\frac{dE}{E} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) dx, \quad (7)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – главные радиусы кривизны поверхности в данной точке, т.е. минимальный и максимальный радиусы кривизны;  $x$  отсчитывается от поверхности электрода в направлении нормали. В результате интегрирования и при подстановке полученного выражения для напряженности поля в условиях самостоятельности разряда и последующем интегрировании, получим уравнение для определения начальной напряженности  $E_0$ .

Для определения начальной напряженности, соответствующей данной точке коронирующего электрода произвольной формы, может быть использовано уравнение для цилиндрических проводов, если эквивалентный радиус провода рассчитывать по формуле:

$$r_0 = \frac{R_1}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \left(1 + 0.2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\right)} \quad (8)$$

Наиболее простым образом он рассчитывается, когда электрод представляет собой поверхность вращения, например, если иглу аппроксимировать гиперболоидом вращения. В этом случае максимальный радиус кривизны ( $R_2$ ) равен радиусу кривизны кривой, вращением которой электрод получен, а минимальный ( $R_1$ ) – равен длине нормали к этой кривой от оси вращения до рассматриваемой точки.

Радиус кривизны вершины электродов точно определяется при начальной стадии коронного разряда. Действительно, для вершины электрода произвольной формы можно допустить  $R_1 \ll R_2$ , тогда с некоторой погрешностью по формуле (8) получим  $r_0 = R_1$ . Таким образом, в начале определяют резонансную частоту  $f_0$  для электрода произвольной формы с соблюдением условия  $q_d = q_e$ , а затем при этой частоте по градуировочной кривой находят  $r_{0экв}$ , что, в конечном итоге, определяет радиус кривизны коронирующей поверхности электрода произвольной формы.

Значение  $f_0 (q_d = q_e)$  для данной конфигурации электродов и при постоянстве характеристик коронного разряда (постоянство тока разряда и атмосферных условий) находится следующим образом: сначала определяются зависимости ВЧ-проводимости разрядного промежутка ( $q_e$  – емкостная) от частоты переменного напряжения при отсутствии коронного разряда. Затем строятся зависимости ВЧ-проводимости при присутствии коронного разряда ( $q_d$ ) и по совпадению  $q_d = q_e$  находят значение  $f_0$ , которое служит для определения по градуировочной кривой радиуса кривизны поверхности электрода произвольной формы.

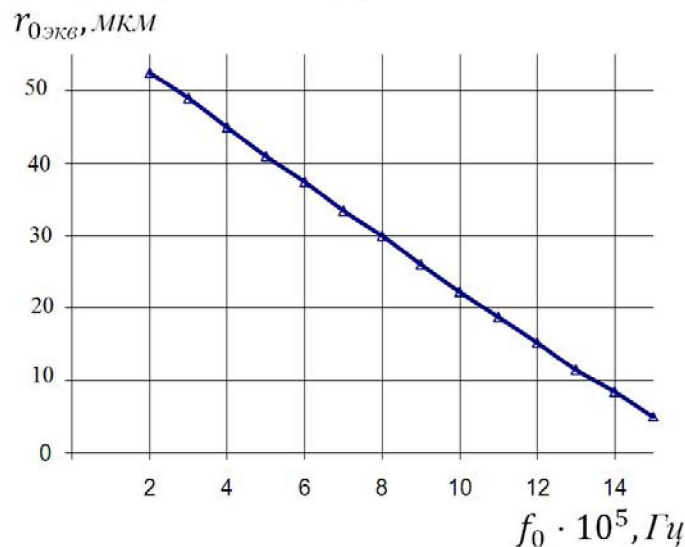


Рисунок 2 - Зависимости эквивалентного радиуса  $r_{0экв}$  от  $f_0$

Для построения градуировочной кривой (рисунок 2) зависимости эквивалентного радиуса микропроволок от  $f_0$  были использованы разрядные камеры в виде цилиндра диаметром от 2 до 36 мм, а центральным коронирующим электродом служили микропроволоки из вольфрама диаметром от 5 до 50 микрон (мкм).

Экспериментальные значения  $f_0$  были определены для коронного разряда в цилиндрической системе электродов, когда  $R=0,2$  см,  $U_0=10$  В,  $I=20$  мкА. Следует отметить, в случае определения радиуса кривизны поверхности неподвижных частей высокочастотной аппаратуры нагрузочное сопротивление 1 кОм располагалось в цепи высокого напряжения.

Выводы. Разработан способ определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода, который осуществляется путем подачи между электродами дополнительного высоковольтного напряжения с амплитудой, меньшей величины высоковольтного постоянного напряжения и регулируя его частоту, создают в плазме чехла коронного разряда режим резонансного колебательного процесса, а затем при равенстве значений высокочастотных проводимостей разрядного промежутка с коронным разрядом и без него, определяют радиус кривизны поверхности коронирующего электрода по градуировочной кривой эквивалентных радиусов, полученной в зависимости от значений резонансных частот.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. М., Энергоатомиздат, 1985, 159с.
- [2] Пик Ф. Диэлектрические явления в технике высоких напряжений. Пер. с англ. М.Л., Госэнергоиздат, 1934, 362с.
- [3] Бахтаев Ш.А., Боканова А.А., Бочкарева Г.В., Сыдыкова Г.К. Физика и техника коронно-разрядных приборов. – Алматы, АУЭС, 2007, 279 с.
- [4] Инновационный патент №24408 РК, кл. G01B 7/12. Способ определения радиуса кривизны поверхности коронирующего электрода / Бахтаев Ш.А. и др., опубл. 15.08.2011, бюл. №8.
- [5] Ashmarin G.V., Lelevkin V.M., Tokarev A.V. Pulse-periodic corona discharge in technologies of gaseous precipitation // 5-International Conference Plasma Physics and Plasma Technologies, Minsk, Belarus, 16-22 September, 2006, Vol.2, p.812-815.
- [6] Niedbalski, Jorge. High-voltage multichannel rail gap switch triggered by corona discharge // Review of scientific Instruments, 2003, Vol. 74, Issue 7, p. 3520–3524.
- [7] Ono, Ryo; Oda, Tetsuji. Dynamics of ozone and OH radicals generated by pulsed corona discharge in humid-air flow reactor measured by laser spectroscopy // Journal of Applied Physics, 2003, Vol.93, Issue 10, p. 5876–5883.
- [8] Malik M.A., Ubaid-ur-Rehman, Ghaffar, A., and Ahmed, K. Synergistic effect of pulsed corona discharges and ozonation and decolourization of methylene blue in water. Plasma Sources Science and Technology, Vol. 11, № 3, 2002, p. 236–241.
- [9] Pemen, A.J.M.; Nair, S.A.; Yan, K.; van Heesch, E.J.M.; Ptasinsky, K.J.; Drinkenburg, A.A.H. Pulsed Corona Discharges for Tar Removal from Biomass Derived Fuel Gas. // Plasmas & Polymers, 2003, Vol. 8, Issue 3, p. 209–224.
- [10] Ming-Wei Li; Zheng Hu; Xi-Zhang Wang; Quing Wu; Yi Chen. Synthesis of carbon nanowires using dc pulsed corona discharge plasma reaction // Journal of Materials Science, 2004, Vol. 39, Issue 1, p. 283–284.
- [11] Salvermoser, M.; Mumick, D.E. Efficient, stable, corona discharge 172 nm xenon excimer light source // Journal of Applied Physics, 2003, Vol. 94, Issue 6, p. 3722.
- [12] Wang, F., Liu, J.B., Sinibaldi, J., Brophy, C., Kuthi, A., Jiang, C., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient Plasma Ignition of Quiescent and Flowing Fuel Mixtures // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol. 33, pp. 844–849.
- [13] Liu, J.B., Wang, F., Li, G., Kuthi, A., Gutmark, E.J., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient plasma ignition // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol.33, p. 326–327.
- [14] Mainelis G., Welleke, K., Adhikari, A., Reponen, T., and Grinshpun, S.A. Design and Collection Efficiency of a New Electrostatic Precipitator for Bioaerosol Collection. Aerosol Science and Technology, 2002, 36, p.1073-1085.
- [15] Ашмарин Г.В., Лелевкин В.М., Токарев А.В. Исследование возможности создания электрофильтров на малых разрядных промежутках. Доклад на юбилейной конференции КРСУ, 2003.
- [16] Yamada, Kimio. An empirical formula for negative corona discharge current in point-grid electrode geometry // Journal of Applied Physics, 2004, Vol. 96, Issue 5, p. 2472–2475.
- [17] Pingao Shi, Dezheng Wang. Numerical simulation of pulsed corona discharge with dust particles at atmospheric pressure // Physics of Plasmas. – 2005. – Vol.12. – Issue 4.
- [18] Chen J. Direct current corona-enhanced chemical reaction // P.h.d. dissertation, University of Minnesota, 2002.
- [19] Yehia, A., Mizuno, A., and Takashima, K. On the Characteristics of the Corona Discharge in a Wire-Duct Reactor // J. Phys. D: Appl. Phys., 2000, Vol. 33, p.2807–2814.
- [20] Ашмарин Г. В., Лелевкин В. М., Ниязалиев И. А., Токарев А.В., Юданов В. А. Значение электрического ветра для теплообмена в технологических устройствах на основе коронного разряда // Вестник КРСУ. – 2006 г. – Т. 6. – № 5. – С. 147.

## REFERENCES

- [1] IP Vereshchagin Corona discharge devices in the electron-ion technology. M. Energoatomisdat, 1985, 159s.
- [2] Peak F. Dielectric Phenomena in High-Voltage Engineering. Per. s Eng. ML, Gosenergoizdat, 1934, 362s.
- [3] Bahtaev Sh, Bokanova AA Bochkareva GV, Sydykov GK Physics and technology koronnrazryadnyh devices. - Almaty AUPET 2007, 279 p.
- [4] The innovative patent RK №24408, cl. G01V 7/12. The method for determining the radius of curvature of the surface discharge electrode / Bahtaev Sh et al., publ. 15.08.2011, Bull. №8.
- [5] Ashmarin G.V., Lelevkin V.M., Tokarev A.V. Pulse-periodic corona discharge in technologies of gaseous precipitation // 5-International Conference Plasma Physics and Plasma Technologies, Minsk, Belarus, 16-22 September, 2006, Vol.2, p.812–815.
- [6] Niedbalski, Jorge. High-voltage multichannel rail gap switch triggered by corona discharge // Review of scientific Instruments, 2003, Vol. 74, Issue 7, p. 3520–3524.
- [7] Ono, Ryo; Oda, Tetsuji. Dynamics of ozone and OH radicals generated by pulsed corona discharge in humid-air flow reactor measured by laser spectroscopy // Journal of Applied Physics, 2003, Vol.93, Issue 10, p. 5876–5883.
- [8] Malik M.A., Ubaid-ur-Rehman, Ghaffar, A. and Ahmed, K. Synergistic effect of pulsed corona discharges and ozonation and decolourization of methylene blue in water. Plasma Sources Science and Technology, Vol. 11, № 3, 2002, p. 236–241.
- [9] Pemen, A.J.M; Nair, S.A.; Yan, K.; van Heesch, E.J.M.; Ptasinsky, K.J.; Drinkenburg, A.A.H. Pulsed Corona Discharges for Tar Removal from Biomass Derived Fuel Gas. // Plasmas & Polymers, 2003, Vol. 8, Issue 3, p. 209–224.
- [10] Ming-Wei Li; Zheng Hu; Xi-Zhang Wang; Quing Wu; Yi Chen. Synthesis of carbon nanowires using dc pulsed corona discharge plasma reaction // Journal of Materials Science, 2004, Vol. 39, Issue 1, p. 283–284.
- [11] Salvermoser, M.; Murnick, D.E. Efficient, stable, corona discharge 172 nm xenon excimer light source // Journal of Applied Physics, 2003, Vol. 94, Issue 6, p. 3722.
- [12] Wang, F., Liu, J.B., Sinibaldi, J., Brophy, C., Kuthi, A., Jiang, C., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient Plasma Ignition of Quiescent and Flowing Fuel Mixtures // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol. 33, pp. 844–849.
- [13] Liu, J.B., Wang, F., Li, G., Kuthi, A., Gutmark, E.J., Ronney, P.D., Gundersen, M.A. Transient plasma ignition // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol.33, p. 326–327.
- [14] Maimelis G., Welleke, K., Adhikari, A., Reponen, T., and Grinshpun, S.A. Design and Collection Efficiency of a New Electrostatic Precipitator for Bioaerosol Collection. Aerosol Science and Technology, 2002, 36, p.1073-1085.
- [15] Ashmarin GV Lelevkin VM, Tokarev AV Study the possibility of creating electrostatic discharge at small intervals. Report on the anniversary conference KRSU 2003.
- [16] Yamada, Kimio . An empirical formula for negative corona discharge current in point-grid electrode geometry // Journal of Applied Physics, 2004, Vol. 96, Issue 5, p. 2472–2475.
- [17] Pingao Shi, Dezhen Wang. Numerical simulation of pulsed corona discharge with dust particles at atmospheric pressure // Physics of Plasmas. – 2005. – Vol.12. – Issue 4.
- [18] Chen J. Direct current corona-enhanced chemical reaction // P.h.d. dissertation, University of Minnesota, 2002.
- [19] Yehia, A., Mizuno, A., and Takashima, K. On the Characteristics of the Corona Discharge in a Wire-Duct Reactor // J. Phys. D: Appl. Phys., 2000, Vol. 33, p.2807–2814.
- [20] Ashmarin GV, Lelevkin VM, Niyazaliev IA, Tokarev AV, Yudanov VA value of the electric wind for heat exchange in technological devices based on corona discharge // Herald KRSU. - 2006 - T. 6. - number 5. - S. 147.

**Ш.А. Бахтаев, Г.В. Бочкарева, Г.Д. Мусаширова, Ф.Р. Авхадиева**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

### **ТӘЖДЕЛУШІ ЭЛЕКТРОД БЕТІНІҢ ҚИСЫҚТЫҚ РАДИУСЫН АНЫҚТАУ ТӘСІЛІ**

**Аннотация.** Тәжделуші электрод бетінің қисықтық радиусын анықтау тәсілін өңдеу негізіне тәждік разряд қабы плазмасының, разрядтық қашықтыққа бір уақытта үлкен тұрақты және аз жоғарғы жиілікті (ЖЖ) айнымалы кернеудің зерттеу нәтижелері жатады. Тәжделуші электрод бетінің қисықтық радиусын анықтау әдісі жасалған, ол электродтар арасында косымша амплитудасы жоғарғы вольтты тұрақты кернеу шамасынан аз мәнді жоғарғы вольтты кернеу беру арқылы іске асырылады, және оның жиілігін өзгерте отырып тәждік разрядтың плазма қабында резонанстық тербелмелі режим қалыптастырылады. Соңында тәждік разряд бар және жоқ болғанда тәждік қашықтықтың жоғарғы жиілікті өткізгіштігінің теңдігі кезінде, тәжделуші электрод бетінің қисықтық радиусын резонанстық жиіліктер мәніне байланысты эквиваленттік радиустер алмастырмалы қисықтың көмегімен анықталады.

**Түйін сөздер:** тәждік разряд, қисықтық радиусы, ЖЖ-өткізгіштік, микроэлектродтар, тәж қабы, электрондық құрамы.