

УДК 658.012

*Н.И. БОЙКО*, д-р техн. наук, НИПКИ "Молния", Харьков  
*С.Ф. КОНЯГА*, магистр, НГУ "ХПИ", Харьков

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МНОГОДИСКОВОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ

В статті розглянуто розрахунок різконеоднорідного електричного поля за допомогою метода скінчених різниць. Проаналізовано розподіл поля при різних геометричних параметрах системи.

В статье рассматривается расчет резконеоднородного электрического поля с помощью метода конечных разностей. Проанализировано распределение поля при разных геометрических параметрах системы.

**Введение.** Система электродов на рис. 1 используется для генерации озона и очистки газовых выбросов [1]. Система содержит диски толщиной 10-40 мкм. К ним подаются импульсы высокого напряжения, возникает коронный разряд, в котором происходит наработка активных частиц. Основным действующим фактором является напряженность электрического поля.

**Цель работы.** Составить математическую модель электрического поля заданной системы, исследовать распределение поля при различных геометрических параметрах электродов.

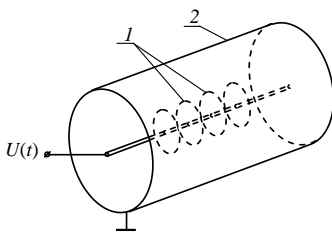


Рис. 1. Система электродов: 1 – диски; 2 – заземленная труба.

**Методика расчета.** Принято допущение о квазистационарности поля. В постановку задачи входит уравнение Лапласа (1) в цилиндрической системе координат, учитывающее осевую симметрию поля, а также граничные условия (2), учитывающие симметрию относительно границ  $B_2$  и  $B_4$  (рис. 2,а).

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0; \quad (1)$$

$$\varphi|_{B_1} = U; \quad \varphi|_{B_3} = 0; \quad E_z|_{B_2, B_4} = 0; \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{B_2, B_4} = 0. \quad (2)$$

Для решения задачи методом конечных разностей используется расчетная сетка, показанная на рис. 2, а. Так как толщина дисков намного меньше характерных размеров системы, используется сетка с неравномерным шагом, который уменьшается с приближением к краю диска. С помощью неравномерного шага также учитывается криволинейная форма границы у кромки диска.

Производные в уравнении (1) заменяем их разностными аналогами, полученными из разложения потенциала в ряд Тейлора в окрестности узловой точки по шаблону "крест" на рис. 2, б [2].

Уравнение (3) приведено для участка сетки с равномерным шагом:

$$\frac{\varphi_i^{k+1} + \varphi_i^{k-1} - 2 \cdot \varphi_i^k}{h^2} + \frac{1}{r_k} \cdot \frac{\varphi_i^{k+1} - \varphi_i^{k-1}}{2 \cdot h} + \frac{\varphi_{i+1}^k + \varphi_{i-1}^k - 2 \cdot \varphi_i^k}{h^2} = 0. \quad (3)$$

Уравнение приводится к виду  $\varphi_i^k \cdot M = L$ , а потенциал на очередной итерации  $j+1$  пересчитывается по формуле [3]:

$$\varphi_{i,k}^{j+1} = \varphi_{i,k}^j + k \cdot \frac{L - \varphi_{i,k}^j \cdot M}{M}, \quad k=1..2. \quad (4)$$

Программа составлена на языке программирования C++. Алгоритм проходит узлы расчетной сетки и пересчитывает потенциал по формуле (4). Итерации прекращаются при достижении заданной погрешности.

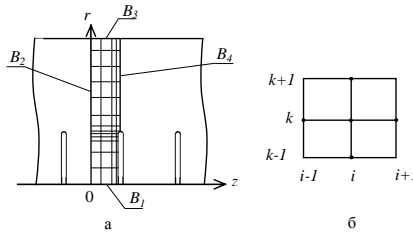


Рис. 2. Расчетная сетка.

**Результаты расчета.** На рис. 3 показаны силовые и эквипотенциальные линии поля при расстояниях между дисками: а) 10 мм; б) 20 мм; в) 30 мм. Значения координат  $r$  и  $z$  приведены в мм.

Расстояние между дисками влияет на распределение поля и определяет габариты системы. Эквипотенциалы в области между дисками на рис. 3, в расположены значительно ближе к внутреннему стержню, чем на рис. 3,а.

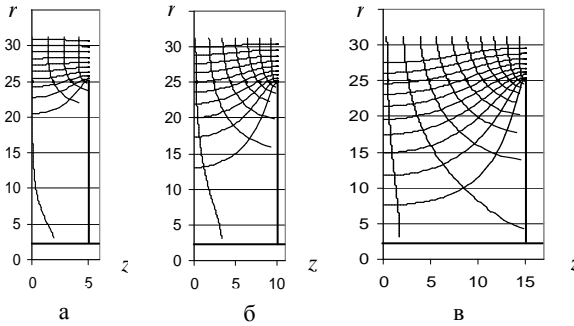


Рис. 3. Картина поля.

На рис. 4 показано изменение напряженности поля возле диска вдоль радиальной координаты. Толщина дисков на рис. 4, а: 1–10 мкм; 2–40 мкм. Расстояние между дисками на рис. 4, б: 1–10 мм; 2–20 мм; 3–30 мм.

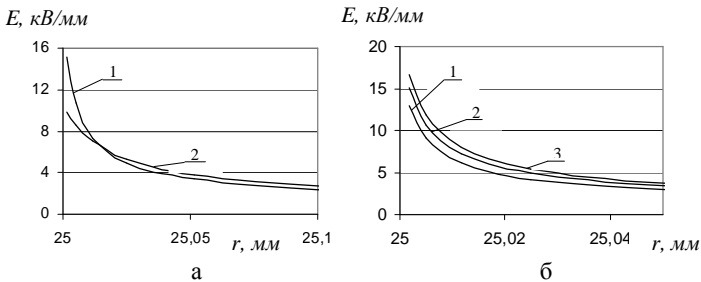


Рис. 4. Изменение напряженности поля вдоль радиальной координаты.

**Выводы.** Показано, что поле резконеоднородное и на расстоянии 0,1 мм от края диска уменьшается в восемь раз. При уменьшении толщины дисков с 40 до 10 мкм максимальное значение напряженности поля увеличивается в 1,5 раз (рис. 4, а). Вычисления показывают, что при уменьшении расстояния между дисками до 10–20 мм максимум напряженности поля уменьшается незначительно.

**Список литературы:** 1. *Бойко Н.И., Борцов А.В., Евдошенко Л.С. и др.* Импульсный коронный разряд с расширенной зоной ионизации: физические основы получения и перспективные области применения // *Электротехника и Электромеханика.* – 2004. – № 3. – С. 98–104. 2. *Самарский А.А.* Введение в теорию разностных схем.– М.: Наука, 1971. 3. *Шун Т.* Решение инженерных задач на ЭВМ.– М.: Мир, 1982.



**Бойко Николай Иванович**, главный научный сотрудник, доктор технических наук, доцент. Окончил с отличием Харьковский политехнический институт по специальности "Инженерная электрофизика" в 1978 году и Харьковский государственный университет по специальности "Радиофизика и электроника" также с отличием в 1982 году. Защитил диссертацию кандидата технических наук в Московском энергетическом институте в 1989 году, а диссертацию доктора технических наук – в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" (НТУ "ХПИ") в 2003 году. С 1978 года по настоящее время работает в подразделении НТУ "ХПИ", которое в настоящее время называется Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния". По совместительству преподает на кафедре инженерной электрофизики НТУ "ХПИ".

Научные интересы находятся в области техники сильных электрических и магнитных полей, электрофизических и высоковольтных технологий, высоковольтной импульсной техники, в том числе мощной, силовой электроники.

**Коняга Станислав Федорович**. Защитил диплом бакалавра по специальности техника и электрофизика высоких напряжений в 2007 г. Работает над завершением магистерской работы.

Научные интересы связаны с проблемами моделирования физических полей в электротехнических установках.



*Поступила в редколлегию 16.04.2009*