

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ИСТОЧНИКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ (ЧАСТЬ 1)

Сковородко М.А.¹, Шидловская Д.В.²,

*¹ст. преподаватель Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь;*

*²преподаватель ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Антонович Д.А., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Плазменный источник заряженных частиц, задачи электростатики.
Keywords. Plasma source of charged particles, problems of electrostatics.

Компьютерное математическое моделирование является одним из результативных методов исследования физических процессов и явлений. Главная задача моделирования – получение информации об объекте через изучение его модели. В некоторых случаях моделирование становится единственно возможным способом изучения сложного процесса, эксперимент над которым провести крайне затруднительно.

Материал и методы. Методологическую базу данной статьи составляет научно-исследовательская литература по данной тематике. В статье используется метод компьютерного эксперимента, с помощью которого рассматривается связь проектирования электродных систем плазменных установок с классическими основами расчетов электростатических полей.

Результаты и их обсуждение. Основной задачей при изучении электростатического поля является нахождение напряженности и потенциала различных точек данного поля. Результаты исследований электростатического поля лежат в основе проектирования плазменных источников заряженных частиц. Электродинамический анализ систем со сложной геометрией может быть эффективно сведен к применению классических подходов электростатики. Таким образом, расчет полей сложной электродной конфигурации можно свести к расчету более простых систем: полей для системы точечных зарядов, моделирующих объемный заряд, и непрерывно распределенных поверхностных зарядов, соответствующих заряженным поверхностям электродов.

В данной работе рассмотрены алгоритмы расчетов различных типов задач по нахождению напряженности и потенциала полей, создаваемых как системами точечных зарядов, так и протяженными заряженными телами. Используя программную среду вычислений MathCad и язык программирования Python, визуализированы картины распределения систем точечных зарядов и зарядов, распределенных по поверхностям.

Для расчета напряженности и потенциала электрического поля обозначим следующие типы задач, зависящие от того чем создается само электрическое поле:

- 1) точечными зарядами;
- 2) зарядами, распределенными равномерно в произвольных конечных областях пространства с постоянными значениями линейной τ , поверхностной σ и объемной ρ плотностями заряда;
- 3) зарядами, распределенными по бесконечным нитям с постоянной линейной плотностью τ , бесконечным плоскостям с постоянной поверхностной плотностью σ , бесконечным цилиндрам или сферам, т.е. распределение зарядов которых имеет плоскую, сферическую (центральную) или цилиндрическую (осевую) симметрию;
- 4) неравномерным распределением заряда (когда плотность распределения заряда задана функцией координат).

Подробные основы моделирования рассмотрим на примере некоторых типов задач.

1 тип задач

Известно, что электрическое поле, создаваемое неподвижным точечным зарядом q , в каждой точке своего пространства характеризуется наличием скалярного потенциала

$$\varphi(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{R} - \vec{r}'|}, \quad (1)$$

где $\vec{r}'$ – радиус-вектор точки, в которую помещен заряд, $\vec{R}$ — радиус-вектор точки, из которой ведется наблюдение, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная [1].

В потенциальном поле находится множества точек, скалярные потенциалы которых одинаковы. Эти точки располагаются на криволинейной поверхности, называемой эквипотенциальной. Наглядно эквипотенциальные линии такой поверхности выглядят, как линии, располагающиеся на различном уровне.

Для системы N неподвижных электрических зарядов, скалярный потенциал находится согласно принципа суперпозиции

$$\varphi(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q}{|\vec{R} - \vec{r}_i|}, \quad (2)$$

где $\vec{r}_i$ – координата i -го заряда.

Для моделирования картины распределения потенциала электростатического поля системы точечных зарядов в программной среде вычислений MathCad, используется следующий алгоритм действий:

- 1) задается в пространстве дискретная координатная сетка;
- 2) вычисляются значения потенциала в каждом узле сетки по формуле (2);
- 3) строятся график поверхности и карта эквипотенциалей [2].

По данному алгоритму произведены вычисления электростатического поля для системы 5 одноименных зарядов $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, расположенных на равном расстоянии $R_0 = 10^{-6}$ м друг от друга вдоль оси OX. На рисунке представлен график поверхности поля и карта эквипотенциальных линий, на которых наглядно виден характер распределения потенциала и скорость его изменения.

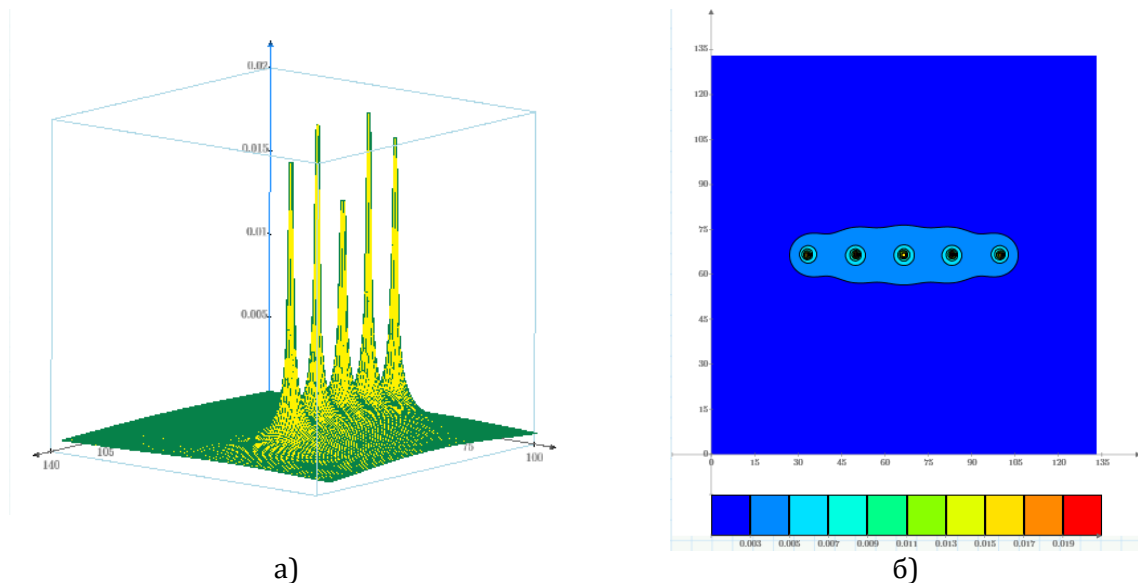


Рисунок – а) график зависимости $\varphi(\vec{R})$;
б) карта эквипотенциальной поверхности точечных зарядов

Эквипотенциальные поверхности по мере приближения к заряду располагаются теснее друг к другу, так как потенциал точек поля быстро увеличивается.

Необходимо отметить, что при разработке плазменных источников необходимо учитывать не только распределение поверхностных зарядов, но и особенности распределенных в пространстве заряженных сред. В плазменных источниках такой областью являются, например, область пространственного заряда пучка. Пример подобного расчета приведен во второй части данной работы.

Заключение. Полученный метод расчета имеет важное практическое применение в области физики плазмы. Данный математический анализ может быть использован для моделирования электростатических полей в источниках заряженных частиц с плазменным эмиттером. С его помощью можно рассчитать распределение электрического поля в пространстве между электродами, оптимизировать форму и положение электродов для создания нужной конфигурации.

1. Калашников, С. Г. Электрические и магнитные поля / С.Г. Калашников. – М. : Наука, 1970.
2. Поршневу, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCad. Учебное пособие / С. В. Поршневу. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 252 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ИСТОЧНИКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ (ЧАСТЬ 2)

Сковородко М.А.¹, Шидловская Д.В.²,

*¹ст. преподаватель Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь;*

*²преподаватель ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Антонович Д.А., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Плазменный источник заряженных частиц, задачи электростатики.
Keywords. Plasma source of charged particles, problems of electrostatics.

Компьютерное математическое моделирование является одним из результативных методов исследования физических процессов и явлений. Главная задача моделирования – получение информации об объекте через изучение его модели. В некоторых случаях моделирование становится единственным способом изучения сложного процесса, над которым невозможно провести эксперимент.

Материал и методы. Методологическую базу данной статьи составляет литература научно-исследовательских трудов. В работе используется метод компьютерного эксперимента, с помощью которого рассматривается связь проектирования электродных систем плазменных установок с классическими основами расчетов электростатических полей.

Результаты и их обсуждение. В первой части работы был представлен один из способов моделирования электростатических полей, создаваемых системой точечных зарядов. В данной работе приведены примеры расчетов, которые могут служить основой при моделировании электростатических полей и распределения потенциалов, создаваемых электродами в плазменных источниках заряженных частиц.

Пример равномерно заряженного диска и диска с отверстием (2 тип задач), в приближенном варианте соответствует форме электродов, в конструкциях плазменных источников заряженных частиц. Для определения зависимости напряженности и потенциала поля от расстояния в точках, расположенных на оси диска радиусом R_0 , заряженного

равномерно с поверхностной плотностью σ (рисунок 1), необходимо [1]:

– выделить элементарный участок поверхности диска, находящийся на расстоянии R от центра, площадь которого

$$dS = R d\alpha dR, \quad (1)$$

(α – полярный угол);

– по формуле

$$dq = \sigma dS = \sigma R dR d\alpha \quad (2)$$

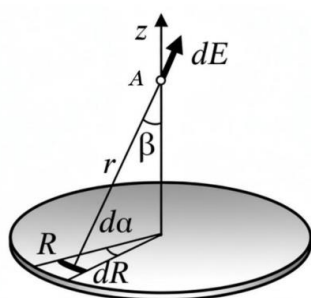


Рисунок 1 – Определение напряженности поля на оси заряженного диска