# Лабораторная работа 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИМЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Цели работы*: ознакомление с методикой моделирования электростатического поля в токопроводящей среде; исследование электростатического поля, созданного системой из проводящих тел.



*Рис. 5.1*

*Приборы и принадлежности*: лабораторный макет установки для моделирования электростатического поля (рис. 5.1). В работе используется планшет *1*, покрытый проводящей бумагой, с нанесенными на него металлическими электродами *2*. На планшете установлены две подвижные линейки *3*, с помощью которых определяются координаты щупа *4*, подключенного к вольтметру *PV*. Помещая щуп в различные точки планшета и измеряя потенциал данной точки, можно построить картину исследуемого поля.

**Исследуемые закономерности**

**Модель электростатического поля***.* В проводящей среде под действием приложенной к электродам разности потенциалов происходит направленное движение заряженных частиц и устанавливается стационарное распределение потенциала, подобное распределению потенциала в диэлектрической среде вокруг заряженных проводящих тел, если форма и взаимное расположение последних аналогичны соответствующим параметрам электродов проводящей модели.

Сопоставление свойств электростатического поля и поля электрического тока в проводящей среде показывает, что если в электростатическом поле на помещенный в поле заряд действует сила

, (5.1)

где **n** – единичный вектор в направлении максимального изменения потенциала, то в проводящей среде вектор плотности тока подчиняется вполне симметричному соотношению

, (5.2)

где γ – электропроводность среды (величина, обратная удельному сопротивлению).

Из сопоставления двух соотношений видно, что во-первых, оба поля потенциальны, т. е. не образуют вихрей в пространстве окружающем электроды, а во-вторых, как линии напряженности электростатического поля, так и линии тока перпендикулярны линиям или поверхностям равного потенциала.

**Поле длинной двухпроводной линии*.*** На планшете моделируются так называемые плоские поля, т. е. такие поля, картина которых остается неизменной при параллельном переносе плоскости, в которой поле исследуется. Как правило, это электростатические поля объектов, бесконечно протяженных в направлении, перпендикулярном секущей плоскости. В данной работе исследуется поле двух длинных, параллельных, равномерно и разноименно заряженных проводящих цилиндров (двухпроводной линии).

**

*Рис. 5.2*

Если абсолютное значение линейной плотности заряда на цилиндрах τ (Кл/м), то напряженность электростатического поля в произвольной точке секущей плоскости будет определяться геометрической суммой напряженностей полей, создаваемых каждым цилиндром (принцип суперпозиции). Для каждого цилиндра абсолютное значение напряженности поля равно

, (5.3)

а значение и направление результирующего вектора напряженности поля определяют по отношению к системе координат *x*0*y* (рис. 5.2), которую задает экспериментатор.

**Связь между потенциалом и напряженностью электростатического поля.** Для потенциальных полей справедливо дифференциальное соотношение между энергетической и силовой характеристиками поля. Для электростатического поля это соотношение имеет вид

, (5.4)

т. е. проекции вектора напряженности на оси декартовой системы координат определяются следующим образом:

. (5.5)

Физический смысл градиента легко понять, если учесть, что линии (или поверхности для объемной картины) равного потенциала и линии напряженности электростатического поля взаимно перпендикулярны. Тогда, рассматривая в произвольной точке эквипотенциальной поверхности систему декартовых координат из двух касательных и нормали к поверхности, можно видеть, что результирующий вектор напряженности поля располагается в направлении максимального изменения потенциала (в данном случае по нормали к поверхности). Поэтому выражение (5.4) часто заменяют эквивалентным ему соотношением

 (5.6)

где **n** – единичный вектор соответствующего направления.

Выражение (5.6) часто бывает предпочтительно в экспериментальных исследованиях электрических полей.

Для определения приближенных значений проекций напряженности в некоторой точке по измеренным значениям потенциала вблизи этой точки можно воспользоваться соотношением

 , (5.7)

где числитель – разность потенциалов, измеренных в точках с соответствующими координатами, а знаменатель – разность координат этих точек.

**Задание на подготовку к работе (оформить на отдельном листе)**

1. Сформулируйте цель работы.

2. Дайте определение потенциала электростатического поля.

3. Каким правилом следует руководствоваться при построении силовых и эквипотенциальных линий поля в точке их пересечения? Объяснить.

4. Как силовые линии электростатического поля могут характеризовать напряженность?

5. Напишите и прокомментируйте формулу для потенциальной энергии системы из *N* точечных зарядов.

6. Выведите выражение для напряженности, создаваемой равномерно заряженным стержнем длиной *L* с линейной плотностью заряда τ, на оси стержня на некотором расстоянии от его конца (вне стержня).

**Указания по выполнению наблюдений**

1. Выполнить эскиз модели. Для этого, пользуясь подвижными линейками планшета, определить координаты и размеры электродов модели. Далее нанести изображения электродов и оси координат на подготовленный бланк (лист миллиметровой бумаги формата А4), определить масштаб, в котором будет изображена исследуемая модель, оцифровать координатные оси.

2. Установить одну из линеек таким образом, чтобы щуп перемещался вдоль линии, соединяющей центры электродов. Перемещая другую линейку, измерить потенциал в различных точках модели вдоль этой линии. Измерения провести через примерно равные расстояния не менее чем в 10 точках между электродами и в 10 точках вне электродов с обеих сторон.

3. Сместить линейку с линии, соединяющей электроды примерно на 6…8 см. Установить вторую линейку так, чтобы она проходила между электродами, измерить потенциал в выбранной таким образом точке. Поочередно смещая линейки, измерить потенциалы на расстоянии примерно 0.5 см от выбранной точки вдоль каждой из осей координатной системы.

4. Выполнить аналогичные измерения в точке, расположенной симметрично относительно точки, выбранной в п. 3.

5. Выполнить аналогичные измерения еще для двух точек, расположенных за электродами.

**Задание на подготовку к проведению работы**

1. Выполните индивидуальное домашнее задание.

2. Изучите описание лабораторной работы.

3. Подготовьте лист миллиметровой бумаги формата А4 для изображения электродов исследуемой модели, координатных осей и основных характеристик поля.

4. Подготовьте таблицы для записи результатов измерений, описанных в пп. 1–5 «Указаний по проведению наблюдений».

5. Выведите формулы для определения значений проекций и модуля напряженности поля, ориентируясь на подготовленные таблицы.

6. Выведите формулы для определения погрешностей проекций и модуля напряженности поля, основываясь на инструментальных погрешностях измерения потенциала и координат.

7. Подготовьте протокол наблюдений с соответствующими таблицами.

**Задание по обработке результатов**

1. По формуле (5.7) рассчитайте экспериментальные значения напряженности поля в точках, расположенных вдоль линии, соединяющей электроды. Нанесите на график ход изменения напряженности электрического поля вдоль этой линии (только экспериментальные точки).

2. Считая диэлектрическую проницаемость моделируемой области ε = 1, определите по значению напряженности в одной из точек на линии между электродами моделируемый заряд (линейную плотность), рассчитайте и нанесите на график с экспериментальными точками теоретические кривые изменения напряженности электрического поля вдоль линии, соединяющей центры электродов. Сравните результаты.

3. Определите экспериментальные значения проекций на оси координат и модули напряженности поля в точках, где проводились измерения, как описано в пп. 3–5 «Указаний по проведению наблюдений».

4. Нанесите на эскиз модели (см. п. 1 «Указаний по проведению наблюдений») изображения нескольких векторов напряженности поля (6–8 точек на линии, соединяющей электроды и во всех точках в стороне от этой линии).

5. Рассчитайте для выбранных векторов напряженности погрешности их модулей, запишите полученные результаты в стандартном виде на эскизе, рядом с соответствующим вектором.

6. Сформулируйте выводы по проведенному исследованию.