# Лабораторная работа 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**(поток электрической индукции)**

*Цели работы*: ознакомление с методикой моделирования электростатического поля в токопроводящей среде; исследование электростатического поля, созданного системой проводящих тел; исследование интегральных характеристик электростатического поля – поток вектора напряженности и индукции, теорема Гаусса, циркуляция вектора напряженности.



*Рис. 3.1*

*Приборы и принадлежности*: лабораторный макет установки для моделирования электростатического поля (рис. 3.1).

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 постоянной разности потенциалов происходит направленное движение заряженных частиц, в результате которого в среде, окружающей электроды, 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

 (3.1)

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

 (3.2)

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

Из сопоставления двух соотношений видно, что, во-первых, оба поля потенциальны, (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. поля, картина которых остается неизменной при параллельном переносе плоскости, в которой производится исследование поля. Обычно, это электростатические поля объектов, бесконечно протяженных в направлении, перпендикулярном секущей плоскости.

В работе исследуется поле двух длинных, параллельных, равномерно и разноименно заряженных проводящих цилиндров (двухпроводной линии).

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 из цилиндров абсолютное значение напряженности поля



*Рис. 3.2*

 (3.3)

а значение и направление результирующего вектора напряженности поля определяют по отношению к системе координат *x*0*y* (рис. 3.2), заданной экспериментатором.

**Напряженность поля и вектор индукции.** Для электростатического поля справедливо следующее соотношение между вектором напряженности поля и вектором электрической индукции:

 (3.4)

Особенность вектора электрической индукции состоит в том, что, описывая с помощью этой физической величины электрическое поле, исследователь избавляется от необходимости учитывать связанные заряды, возникающие при поляризации среды.

**Поток вектора индукции электрического поля (теорема Гаусса)*.*** Поток вектора индукции электрического поля определяется выражением

 (3.5)

где *S* – поверхность произвольной формы в области поля; **n** – единичный вектор нормали в данной точке поверхности.

Поток вектора индукции поля является характеристикой источников этого поля. Для электростатического поля справедлива теорема Гаусса

 (3.6)

где *S* – произвольная замкнутая поверхность в области поля; *V* – объем области поля, ограниченный поверхностью *S*; *QV*– заряд, распределенный в объеме *V*.

Выражение (3.6) означает: *поток вектора**индукции электростатического поля через замкнутую поверхность произвольной формы равен суммарному заряду, заключенному в объеме, ограниченном этой поверхностью, и не зависит от зарядов, расположенных вне данной поверхности.*

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

1. Сформулируйте цель работы.

2. Для данной модели двухпроводной разноименно заряженной линии качественно изобразите на рисунке силовые линии напряженности (5–6 линий) и эквипотенциальные линии (5–6 линий).

3. Дайте определение потенциального поля, напряженности и потенциала электростатического поля. Выведите соотношение, которое связывает разность потенциалов с напряженностью электростатического поля, используя их определения.

4. Как по силовым линиям электростатического поля можно качественно характеризовать напряженность, поток вектора напряженности?

5. Покажите, что градиент потенциала, взятый с противоположным знаком, равен значению напряженности электростатического поля.

6. Выведите, используя теорему Гаусса, выражение для зависимости напряженности от расстояния до центра равномерно заряженного по объему с объемной плотностью ρ бесконечного стержня радиуса *R* (внутри и вне стержня). Диэлектрическая проницаемость стержня ε = 2 , вне стержня ε = 1.

**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 линейки в произвольной точке планшета, записать координаты этой точки. Измерить потенциал выбранной точки. Сместить одну из линеек примерно на 0.5 см вдоль оси *х*, измерить потенциал в этой точке. Вернуть линейку в исходное положение. Сместить другую линейку примерно на 0.5 см вдоль оси *у*, измерить потенциал этой точки. Легко видеть, что таким образом реализуется измерение составляющих *Ех* и *Еу* вектора напряженности исследуемого поля.

3. Наметить на эскизе модели произвольный прямоугольный контур, не охватывающий электроды. Размеры этого контура на модели должны составлять примерно 3×6 см. Разбить контур на отрезки, длина которых на исследуемой модели будет около 0.5 см. Рассчитать координаты середины каждого отрезка на исследуемой модели, после чего, пользуясь подвижными линейками, измерить потенциалы в середине каждого отрезка и на расстоянии примерно 0.5 см в направлении, перпендикулярном данному отрезку. Таким образом реализуется измерение нормальных составляющих вектора напряженности для каждого из отрезков.

4. Выполнить аналогичные п. 3 измерения для произвольного прямоугольного контура, охватывающего один из электродов.

**Задание на подготовку к работе**

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 результатов измерений, описанных в пп. 2–5 «Указаний по проведению наблюдений».

5. Выведите формулы для определения значений величин проекций и модулей индукции поля, ориентируясь на подготовленные таблицы.

6. Выведите формулы для определения погрешностей составляющих индукции поля и их модулей, основываясь на значениях инструментальных погрешностей измерения потенциала и координат.

7. Подготовьте протокол наблюдений с соответствующими таблицами.

**Задание по обработке результатов**

1. По результатам измерений п. 2 «Указаний по проведению наблюдений» рассчитайте и изобразите на подготовленном бланке векторы, изображающие составляющие и модуль значения индукции в исследованной точке. Рядом с вектором укажите его значение и погрешность. При расчетах принять, что диэлектрическая проницаемость моделируемой области ε = 1.

2. По результатам измерений п. 3 «Указаний по проведению наблюдений» рассчитайте нормальную составляющую напряженности на каждом отрезке выбранного контура. Изобразите на контуре несколько (6–8) составляющих напряженности поля с указанием погрешности. Если предположить, что исследуемая модель представляет собой два длинных заряженных цилиндра, то в вертикальном направлении значение напряженности поля меняться не будет. Таким образом, выбранный контур можно считать основанием цилиндра высотой *h*. Задав значение высоты (несколько сантиметров) и воспользовавшись одним из выражений (3.5), (3.6), рассчитайте значение потока вектора индукции в данной области исходя из того, что диэлектрическая проницаемость моделируемой области ε = 1.

3. По результатам измерений п. 4 «Указаний по проведению наблюдений» проведите расчеты, аналогичные расчетам, выполненным в п. 2. Рассчитайте значение потока вектора индукции и вычислите погонный заряд цилиндров [Кл/м].

4. Сформулируйте выводы по проведенному исследованию.