# Лабораторная работа 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**(циркуляция напряженности)**

*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. 2.1*

*Приборы и принадлежности*: лабораторный макет установки для моделирования электростатического поля (рис. 2.1).

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 разные 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 чего 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

, (2.1)

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

 (2.2)

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. такие поля, картина которых остается неизменной при параллельном переносе плоскости, в которой исследуется поле. Как правило, это электростатические поля объектов, бесконечно протяженных в направлении, перпендикулярном секущей плоскости.



*Рис. 2.2*

В данной 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 цилиндра напряженность поля равна

, (2.3)

а значение и направление результирующего вектора напряженности поля определяют по отношению к системе координат *x*0*y* (рис. 2.2), заданной экспериментатором.

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

 (2.4)

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



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

Поток вектора индукции представляет собой характеристику источников этого поля. Для электростатического поля справедлива теорема Гаусса

, (2.5)

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

Это означает, что выражение (2.4) следует понимать так: *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*.

**Циркуляция вектора напряженности электрического поля*.***Для идентификации свойств физических полей существуют интегральные характеристики. В электрическом поле циркуляцией вектора напряженности называют физическую величину, которая определяется соотношением

 (2.6)

где *L* – произвольный замкнутый контур; **τ** – единичный вектор касательной к линии контура в данной точке.

Видно, что в электрическом поле циркуляция вектора напряженности напрямую связана с работой перемещения заряда в электрическом поле. Для потенциального поля Г = 0. Электростатическое поле – потенциально.

**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, связывающее разность потенциалов с напряженностью электростатического поля, используя их определения.

4. Что характеризуют силовые линии электростатического поля?

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

6. Выведите выражение для потенциала, создаваемого 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. Пользуясь подвижными линейками планшета, определить координаты и размеры электродов модели. Нанести изображения электродов и оси координат на подготовленный бланк (лист миллиметровой бумаги формата А4), определить масштаб, в котором будет изображена исследуемая модель, провести оцифровку координатных осей.

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. Так реализуется измерение составляющих *Ех* и *Еу* вектора напряженности исследуемого поля.

3. Наметить на эскизе модели произвольный замкнутый контур, не охватывающий электроды. Разбить контур на отрезки, длина которых на исследуемой модели составит около 0.5 см. Выбрать, измерить и записать координаты и потенциал начальной точки, рассчитать координаты конца каждого отрезка на исследуемой модели, после чего, пользуясь подвижными линейками, измерить потенциалы в концах всех отрезков. Таким образом реализуется измерение касательных составляющих вектора напряженности для каждого из отрезков.

**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 результатов измерений, описанных в пп. 2, 3 «Указаний по проведению наблюдений».

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

6. Выведите формулы для определения погрешностей составляющих напряженности поля и их модулей, основываясь на инструментальных погрешностях 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 напряженности в исследованной точке. Рядом с вектором укажите его значение и погрешность.

2. По результатам измерений п. 3 «Указаний по проведению наблюдений» рассчитайте касательную составляющую напряженности на каждом отрезке выбранного контура. Изобразите на контуре несколько (6–8) составляющих напряженности поля с указанием погрешности. Воспользовавшись дискретным представлением одного из выражений (2.5), рассчитайте значение циркуляции вектора напряженности в данной области.

3. Сформулируйте выводы по проведенному исследованию.