

Министерство образования и науки Российской Федерации



УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИШНКБ

_____ Баранов П.Ф.

“ ____ ” _____ 2024 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНОГО
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы № 3
по дисциплине “Физические основы получения информации”

ТОМСК 2024

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 " ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ"

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Физической основой электропотенциального преобразования является зависимость распределения электрического потенциала на поверхности объекта, по которому протекает электрический ток, от свойств этого объекта.

Картину электрического поля на поверхности проводящего электрический ток объекта удобно представлять линиями напряженности поля \vec{E} (силовыми линиями, линиями тока) и эквипотенциальными линиями (рис.1). Эквипотенциальными называются линии, все точки которых находятся под одним потенциалом φ . Величины \vec{E} и φ связаны соотношением:

$$\vec{E} = -\overline{\text{grad}} \varphi = -\frac{d\varphi}{dl}, \quad (1)$$

где \overline{dl} - элементарное линейное перемещение вдоль линии максимального изменения φ .

Линии напряженности электрического поля всегда нормальны к эквипотенциальным линиям. Эквипотенциальные линии обычно проводятся таким образом, чтобы разность потенциалов двух любых соседних линий была величиной постоянной. В этом случае по густоте эквипотенциальных линий можно судить о значении напряженности электрического поля.

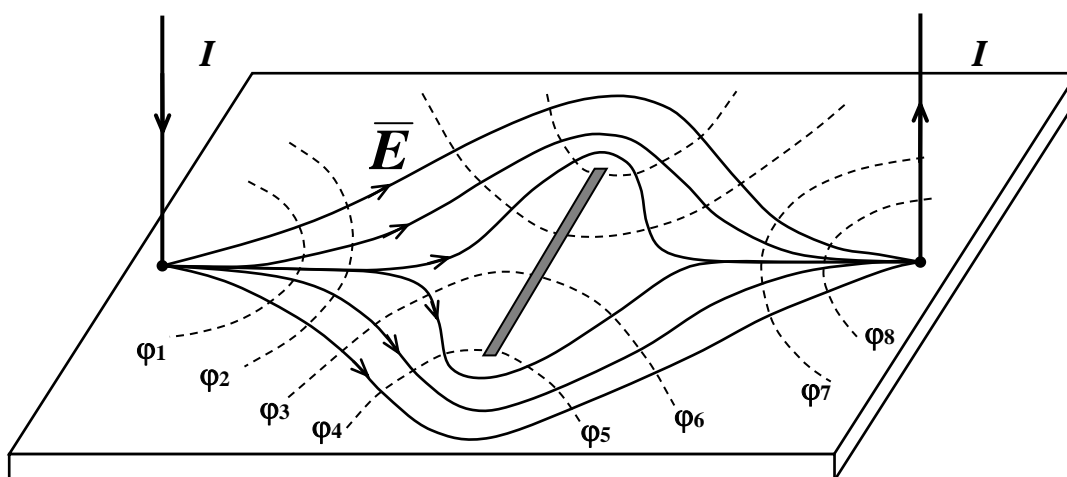


Рис. 1. Картина электрического поля на поверхности пластины, по которой протекает электрический ток.

Величины плотности тока \vec{j} и напряженности электрического поля \vec{E} связаны соотношением:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (2)$$

где σ - удельная электрическая проводимость.

На постоянном токе картина электрического поля на поверхности объекта определяется электрической проводимостью его материала, размерами и формой объекта, расположением подводящих электрический ток электродов, наличием включений с отличающимися от основного материала свойствами. На переменном токе ввиду скин-эффекта кроме вышеперечисленных факторов на картину электрического поля оказывают влияние частота электрического тока и магнитная проницаемость материала.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

2.1. Почему эквипотенциальные линии и линии напряженности электрического поля всегда перпендикулярны друг другу?

2.2. Почему по густоте эквипотенциальных линий можно судить о напряженности электрического поля?

2.3. Что такое плотность тока?

2.4. Как влияет толщина пластины, по которой пропускается электрический ток, на картину электрического поля?

2.5. Зависит ли от расположения токоподводящих электродов на поверхности изделия картина электрического поля?

2.6. Как влияет на картину электрического поля наличие несплошности изделия?

2.7. Почему на картину электрического поля на переменном токе влияет магнитная проницаемость материала?

3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с физическими основами электропотенциального преобразования, экспериментально определить картину электрического поля на поверхности проводящей электрический ток пластины и влияние на топографию поля месторасположения токопроводящих электродов, наличия и ориентации несплошности (прорези) пластины.

4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Определить картины электрических полей (эквипотенциальные линии и линии напряженности) при пропускании постоянного электрического тока через пластину без прорези при различных расположениях токоподводящих электродов.

4.2. Определить картины электрических полей (эквипотенциальные линии и линии напряженности) при пропускании постоянного электрического

тока через пластину с прорезью при различных расположениях токоподводящих электродов.

4.3. Определить распределение значений электрического потенциала и напряженности электрического поля вдоль отдельных линий напряженности поля.

4.4. Определить удельную электрическую проводимость материала пластин.

4.5. Определить значение плотности электрического тока в отдельных точках на поверхности пластин.

5. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Токопроводящие электрический ток пластины без прорези и с прорезью расположены на специальном планшете. На этом же планшете имеется полоска из того же материала с известными геометрическими параметрами (указаны на планшете), предназначенная для измерения удельной электрической проводимости материала. На пластинах имеются контактные штыри для подключения токопроводящих электродов и нулевого потенциального электрода. Для определения местоположения точек измерения на пластины нанесены координатные сетки. Питание постоянным электрическим током осуществляется с коммутационно-измерительной панели (КИП) - гнезда “ $I_{\text{пластин}}$ ” и “ \perp ”. Регулирование и измерение тока осуществляется переключателем и амперметром, расположенными на КИП. Измерение потенциалов точек поверхности пластин осуществляется универсальным цифровым вольтметром В7-16 (В7-16А) с помощью специального измерительного щупа (рис. 2), имеющего измерительный электрод, провод с гнездом для подключения нулевого электрода, гнезда для подключения цифрового вольтметра (“Вых” и “ \perp ”). В корпусе щупа расположен усилитель разности потенциалов с коэффициентом усиления $K_{\text{ус}} = 10$. Питание усилителя осуществляется с КИП через кабель с разъемом питания.

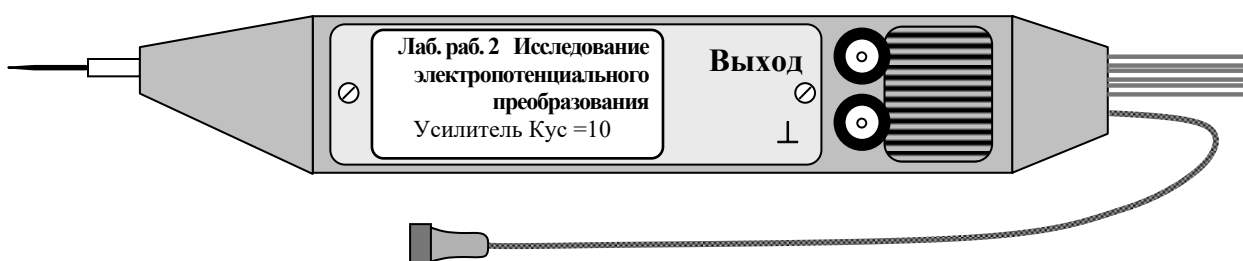


Рис. 2. Внешний вид измерительного щупа.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Для экспериментального определения картины электрического поля при пропускании постоянного электрического тока через пластину без прорези используется схема рис. 3.

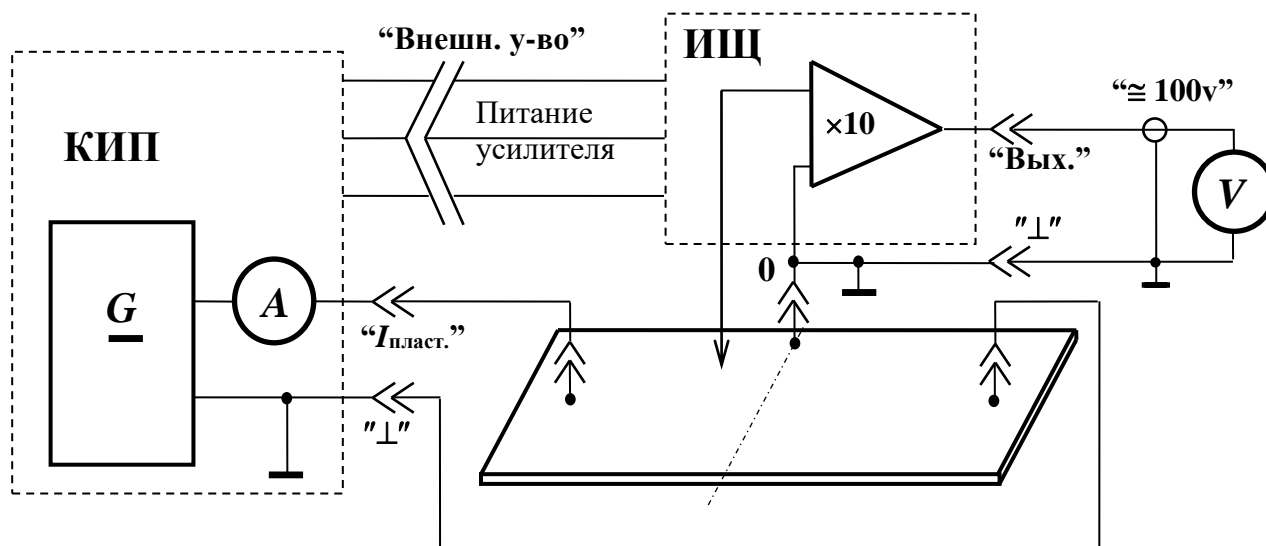


Рис. 3. Схема измерения электрических потенциалов на поверхности пластины с током: **КИП** - контрольно-измерительная панель; **G** - источник постоянного напряжения; **V** - вольтметр; **A** - амперметр; **ИЩ** - измерительный щуп;

Значение питающего тока устанавливается равным 3А. Нулевой потенциальный электрод измерительного щупа подключается к контактному штырю, расположенному на поперечной оси симметрии пластины. Определение эквипотенциальных линий на поверхности пластины можно осуществить двумя способами.

По первому способу сначала определяются координаты точек, имеющих нулевой потенциал. Далее определяются координаты точек, имеющих потенциалы относительно нулевого электрода $\pm 0,15\text{мВ}$; $\pm 0,30\text{мВ}$; $\pm 0,45\text{мВ}$ и т.д. Картина эквипотенциальных линий наносится на выполненный в масштабе 1:1 чертеж пластины (рис. 4). Далее строятся линии напряженности электрического поля (силовые линии поля), пересекающие эквипотенциальные линии под углом 90° . Начальное направление силовых линий l_i от точек подключения токовых электродов удобно задавать через 20° , начиная от прямой, соединяющей токовые электроды.

По второму способу определяются потенциалы во всех узлах координатной сетки (рис. 5). Результаты измерений заносятся в таблицу 1. Картина эквипотенциальных линий находится с использованием

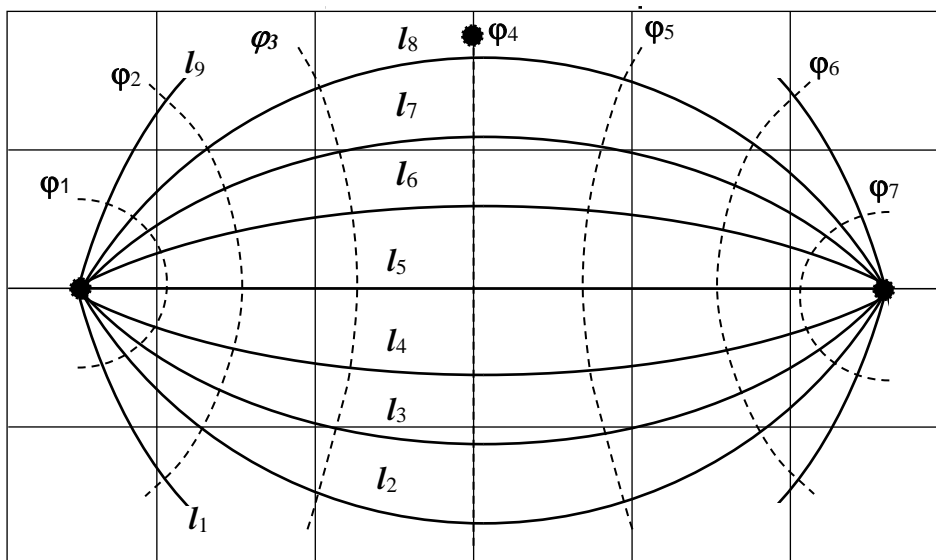


Рис. 4. Картина эквипотенциальных (φ_i) и силовых (l_i) линий на поверхности пластины с током.

математического редактора **Mathcad** (стандартная операция построения скалярных полей). Поскольку редактором **Mathcad** могут быть обработаны матрицы с результатами измерений с максимальным размером $n \times m = 100$, то измерение потенциалов осуществляется только на части пластины (для $0 \leq X \leq 90$ и $0 \leq Y \leq 90$). Силовые линии проводятся в соответствии с рекомендациями предыдущего способа измерений.

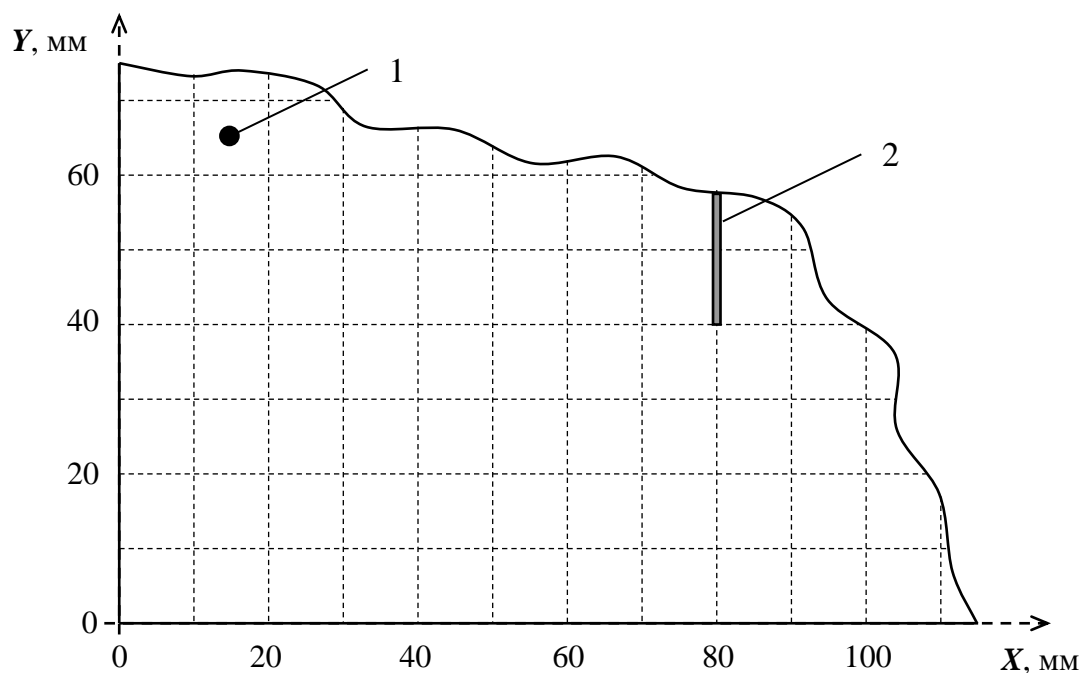


Рис. 5. Фрагмент пластины с координатной сеткой: 1- токовый электрод; 2 – прорезь в пластине.

Таблица 1. Результаты измерения электрических потенциалов в узлах координатной сетки.

$Y, \text{ мм}$ $X, \text{ мм}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0										
10										
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										

6.2. Экспериментальное определение картины электрического поля при пропускании постоянного электрического тока через пластину с прорезью осуществляется аналогично 6.1.

6.3. Для определения распределения значений потенциала и напряженности электрического поля вдоль отдельных силовых линий используются результаты, полученные при выполнении разделов 6.1 и 6.2. Вначале строится график зависимости $\varphi(l_i)$ для отдельной силовой линии поля (рис. 6а), а далее на основе этой зависимости - график зависимости $E(l_i)$. При этом для выбранных интервалов Δl находятся соответствующие им приращения $\Delta \varphi$ (рис. 6б).

Значение E , соответствующее середине интервала Δl , находится по формуле:

$$E = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}. \quad (3)$$

Значение Δl удобно выбрать равным 10 мм.

6.4. Определение удельной электрической проводимости σ материала пластин осуществляется путем измерения разности потенциалов U на участке полоски из того же материала с известными геометрическими параметрами при

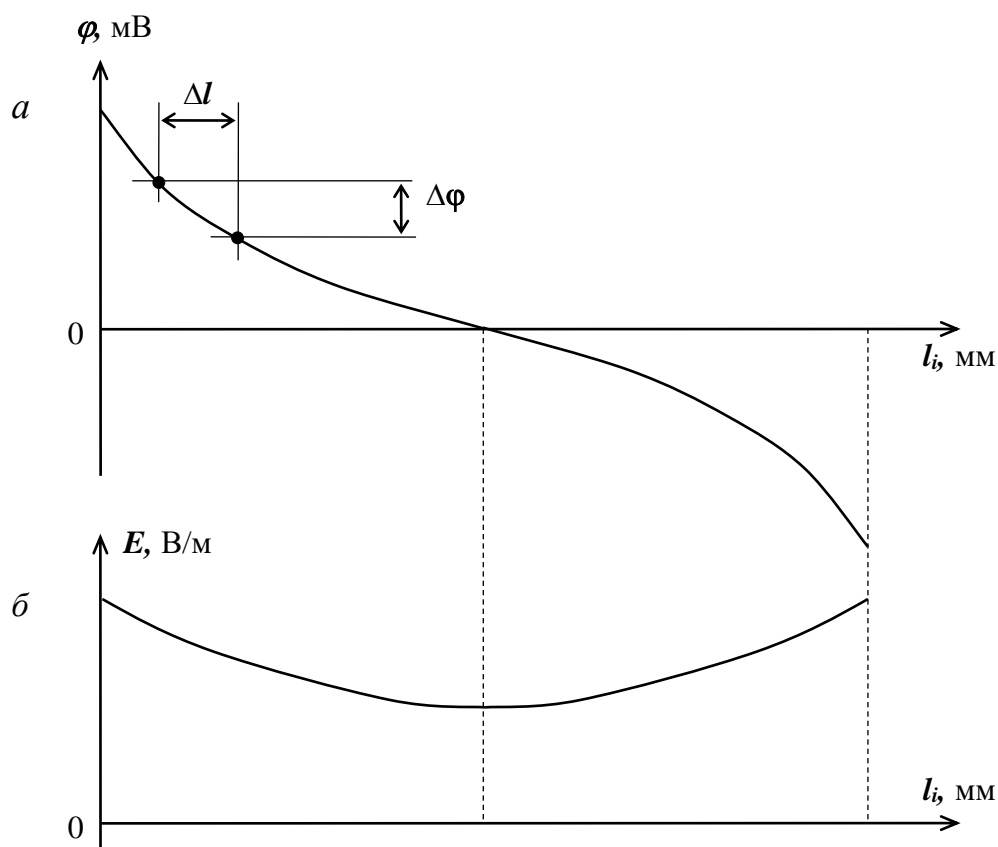


Рис. 6. Распределение электрических потенциалов (а) и напряженности (б) вдоль одной из силовых линий электрического поля.

пропускании через полосу постоянного электрического тока известного значения $I = (3 \div 4) \text{ А}$. Если расстояние между токовыми электродами много больше ширины полосы d (что выполняется в нашем случае) и по крайней мере вдвое превышает расстояние между потенциальными электродами l можно считать распределение электрического тока по сечению полосы равномерным. В этом случае:

$$\frac{U}{I} = R; \quad (4)$$

$$R = \frac{l}{\sigma S} = \frac{l}{\sigma h d},$$

где R - сопротивление участка полосы между потенциальными электродами;

S, d, h - площадь поперечного сечения, ширина и толщина полосы ($h = 10 \text{ мм}$; $d = 0,3 \text{ мм}$).

Значение σ находится по результатам измерений U и I из уравнений (4).

6.5. Значение плотности электрического тока в отдельных точках на поверхности пластин находят на основании результатов, полученных при выполнении разделов 6.1 - 6.4 по формуле (2).

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название работы.

7.2. Цель работы.

7.3. Программа работы.

7.4. Схема экспериментальной установки.

7.5. Основные соотношения, примеры расчета.

7.6. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде картин электрических полей и таблиц.

7.7. Графики зависимостей.

7.8. Выводы

8. ЛИТЕРАТУРА

8.1. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований: учебн. пособие Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 253 с.

8.2. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: учебник Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 292 с.

8.3. Савельев И.В. Курс общей физики, том II. Электричество. М.: Наука, 1973. - 432 с.

8.4. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный контроль. Под ред. В.В. Сухорукова. - М.: Высш. шк. , 1992. - 312 с.

Составитель: профессор, д.т.н. А.Е. Гольдштейн.