

Группа P3110 К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Лебедев Вадим Антонович Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Коробков Максим Петрович Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.01

### Изучение электростатического поля методом моделирования

#### 1. Цель работы.

Построение сечений эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля на основе экспериментального моделирования распределения потенциала в слабопроводящей среде.

#### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Произвести необходимые измерения.
2. По полученным данным построить сечение эквипотенциального поля.
3. Построить графики зависимости потенциала от координаты для двух экспериментов.
4. Сформулировать выводы.

#### 3. Объект исследования.

Электрическое поле

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Метод моделирования

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}},$  (средняя напряженность между двумя точками, лежащими на одной силовой линии)

$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q},$  (вектор напряженности)

$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{\Pi}(\vec{r})}{q},$  (вектор потенциала в данной точке)

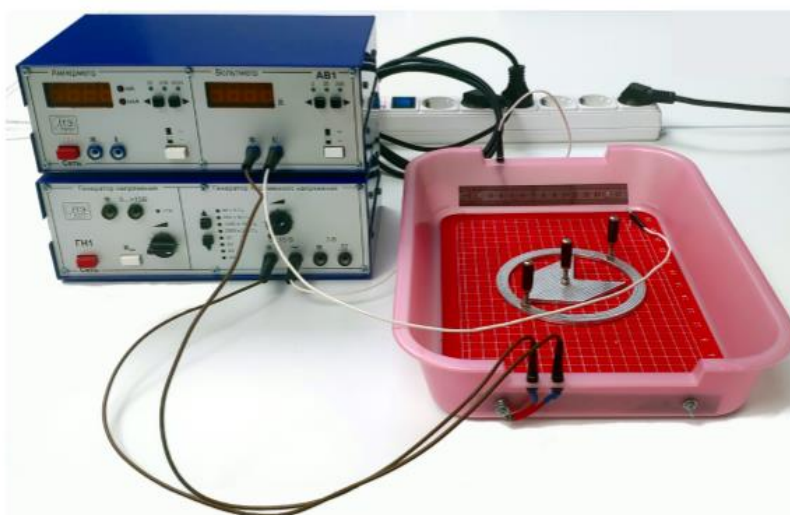
$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \equiv -\vec{\nabla} \varphi,$

$\varphi_2 - \varphi_1 = - \int_1^2 \vec{E} d\vec{\ell}.$  (связь напряженности и потенциала электростатического поля)

6. Измерительные приборы.

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование</i>	<i>Тип прибора</i>	<i>Используемый диапазон</i>	<i>Погрешность прибора</i>
1	Вольтметр	Цифровой	1 – 14В	0,01В
2	Линейка на дне ванны	Аналоговый	0 - 31	0,1 см

## 7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).



На боковых стенках электролитической ванны расположены плоские металлические электроды, подключенные к многофункциональному генератору напряжения ГН1. Между электродами находится измерительный зонд в виде тонкого изолированного проводника, подсоединенного к вольтметру. Вольтметр в составе комбинированного прибора АВ1 показывает действующую разность потенциалов между зондом и электродом, подключенным ко второму гнезду вольтметра. Собственное сопротивление вольтметра существенно превышает сопротивление воды в ванне, для того чтобы измерительный ток вольтметра не шунтировал токи в модели и не искажал распределение электрического поля. В ванну может быть помещено проводящее тело в форме кольца.

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Рисунок 1 – сечение эквипотенциальных поверхностей и силовые линии

Рисунок 2 – сечение эквипотенциальных поверхностей и силовые линии (с внесением в поле металлического проводника)

## 9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Для модели плоского конденсатора по формуле рассчитаем величину напряженности в центре электролитической ванны и в окрестности одного из электродов.

$$\langle E_{12} \rangle = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$$

$$\langle E_{\text{ц}} \rangle = \frac{9,77 \text{ В} - 5,77 \text{ В}}{0,103 \text{ м}} = 38,84 \text{ В/м}$$

$$\langle E_{\text{ок}} \rangle = \frac{3,77 \text{ В} - 1,77 \text{ В}}{0,044 \text{ м}} = 45,45 \text{ В/м}$$

Оценим поверхностную плотность электрического заряда на электродах

$$\sigma' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n}$$

$$\sigma'_1 \approx -8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} * \frac{1,77 \text{ В}}{0,026 \text{ м}} \approx -6,02 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma'_2 \approx -8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} * \frac{2,23 \text{ В}}{0,048 \text{ м}} \approx -4,11 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Для конфигурации поля при наличии проводящего кольца найдём на построении

области с минимальной  $E_{min}$  и максимальной  $E_{max}$  напряженностью.

$$< E_{min} > = 0 \text{ В/М} - \text{внутри кольца}$$

$$< E_{max}(\text{слева}) > = \frac{6,74-5,68}{0,007} = 151,4 \frac{\text{В}}{\text{М}} - \text{вблизи внешней окружности кольца}$$

$$< E_{max}(\text{справа}) > = \frac{7,68-6,74}{0,005} = 188 \frac{\text{В}}{\text{М}} - \text{вблизи внешней окружности кольца}$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{x_{12}} = \frac{a}{b}$$

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial \varphi_1} \Delta \varphi_1\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial \varphi_2} \Delta \varphi_2\right)^2} = \sqrt{\Delta \varphi_1^2 + \Delta \varphi_2^2}$$

$$\Delta a = \Delta \varphi \sqrt{2}$$

Тогда

$$\Delta a = 0,14$$

$$\Delta b = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2} = \Delta x \sqrt{2}$$

Тогда:

$$\Delta b = 0,0014$$

Относительная погрешность:

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln E}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln E}{\partial b} \Delta b\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta E}{E} * 100\%$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{0,14}{4}\right)^2 + \left(\frac{0,0014}{0,103}\right)^2} = 0,037$$

$$\varepsilon_x = 3,7\% - \text{в центре ванны}$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta E = 1,43$$

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{0,14}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,0014}{0,044}\right)^2} = 0,076$$

$$\varepsilon_x = 7,6\% - \text{в окрестности электрода}$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta E = 3,45$$

11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

Рисунок 1 – сечение эквипотенциальных поверхностей и силовые линии

Рисунок 2 – сечение эквипотенциальных поверхностей и силовые линии (с внедрением в поле металлического проводника)

Рисунок 3 – график зависимости потенциала от координаты

## 12. Окончательные результаты.

$$\langle E_{ц} \rangle = (38,84 \pm 1,43) \frac{В}{М}, \quad \varepsilon_x = 3,7\%, \quad \alpha = 0,95$$

$$\langle E_{ок} \rangle = (45,45 \pm 3,45) \frac{В}{М}, \quad \varepsilon_x = 7,6\%, \quad \alpha = 0,95$$

$$\langle E_{min} \rangle = 0 \text{ В/М} - \text{внутри кольца}$$

$$\langle E_{max}(\text{слева}) \rangle = \frac{6,74-5,68}{0,007} = 151,4 \frac{В}{М} - \text{вблизи внешней окружности кольца}$$

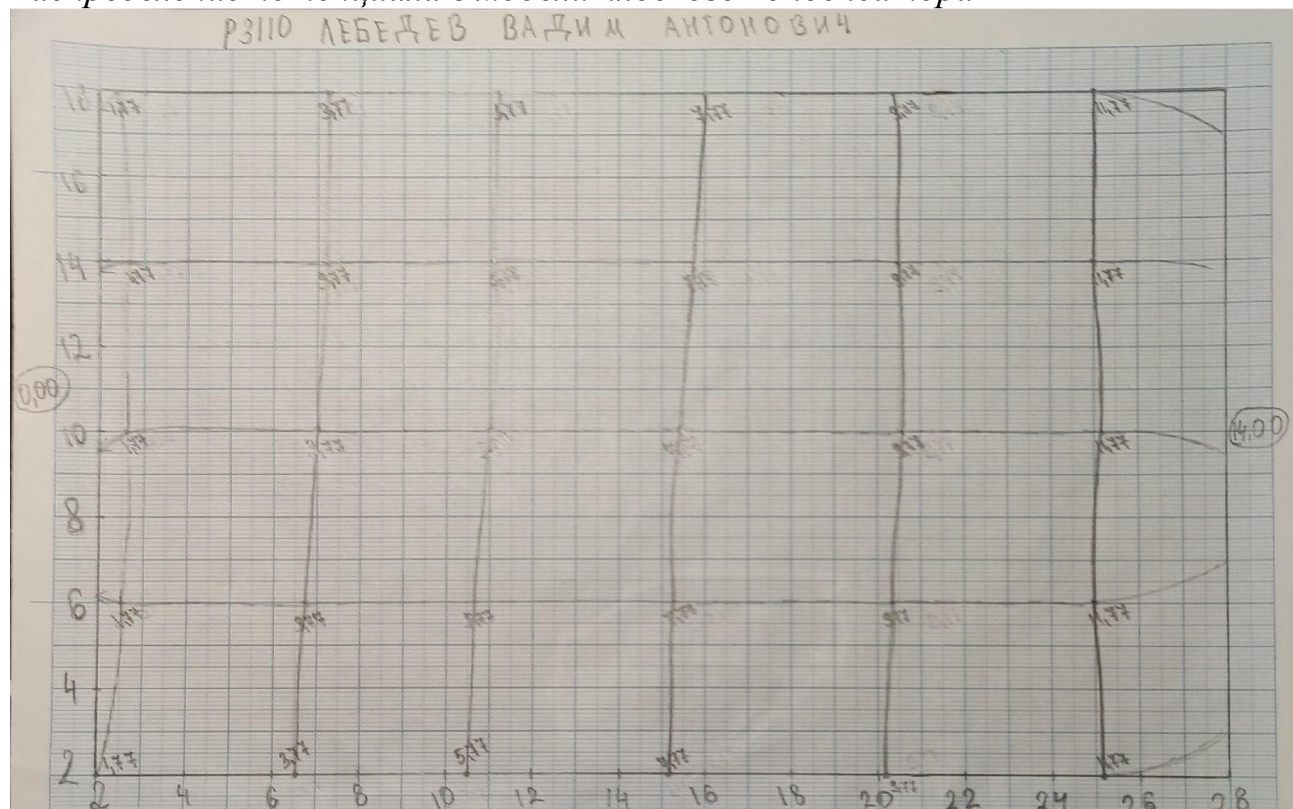
$$\langle E_{max}(\text{справа}) \rangle = \frac{7,68-6,74}{0,005} = 188 \frac{В}{М} - \text{вблизи внешней окружности кольца}$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

- 1) В ходе лабораторной работы мной была построена модель электрического поля в виде эквипотенциальной поверхности. Полученная модель достаточно сильно отличается от предполагаемого результата, это объясняется несовершенством оборудования, и также ошибками при моделировании.
- 2) В ходе выполнения лабораторной работы было обнаружено, что внутри кольца напряженность минимальна и равна нулю, что согласуется с теоретическими представлениями о перераспределении зарядов внутри проводника и суммарной 0 напряженности. Максимальная напряженность зафиксирована около внешней окружности кольца, из-за того, что силовые линии в данном месте более плотные.
- 3) Также были построены графики зависимостей потенциала от координаты для двух исследованных конфигураций поля для «горизонталей»  $Y = 10 \text{ см}$ .

## Приложение 2

### Распределение потенциала в модели плоского конденсатора



### Распределение потенциала при наличии проводящего тела

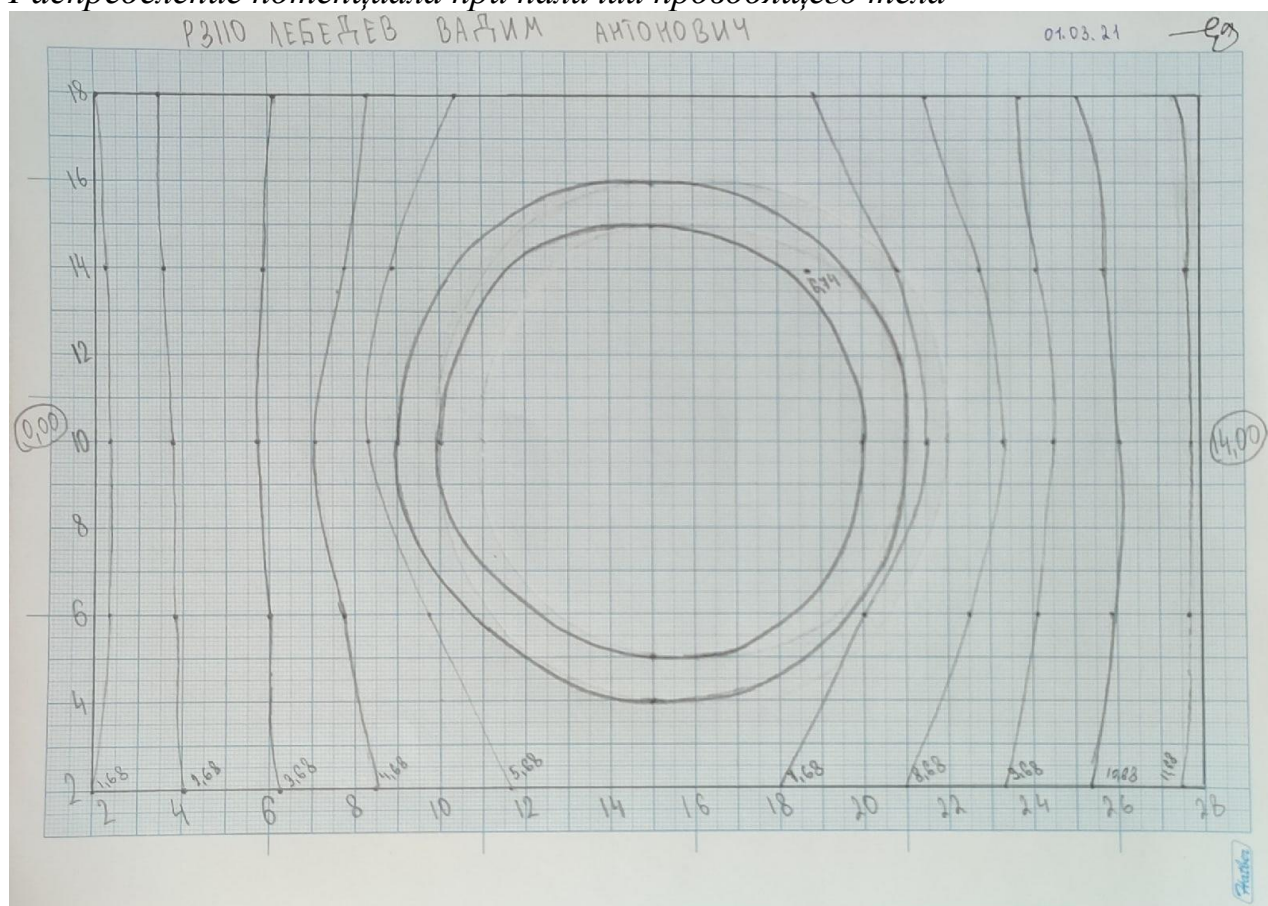


График зависимости потенциала от координаты (для модели плоского конденсатора)

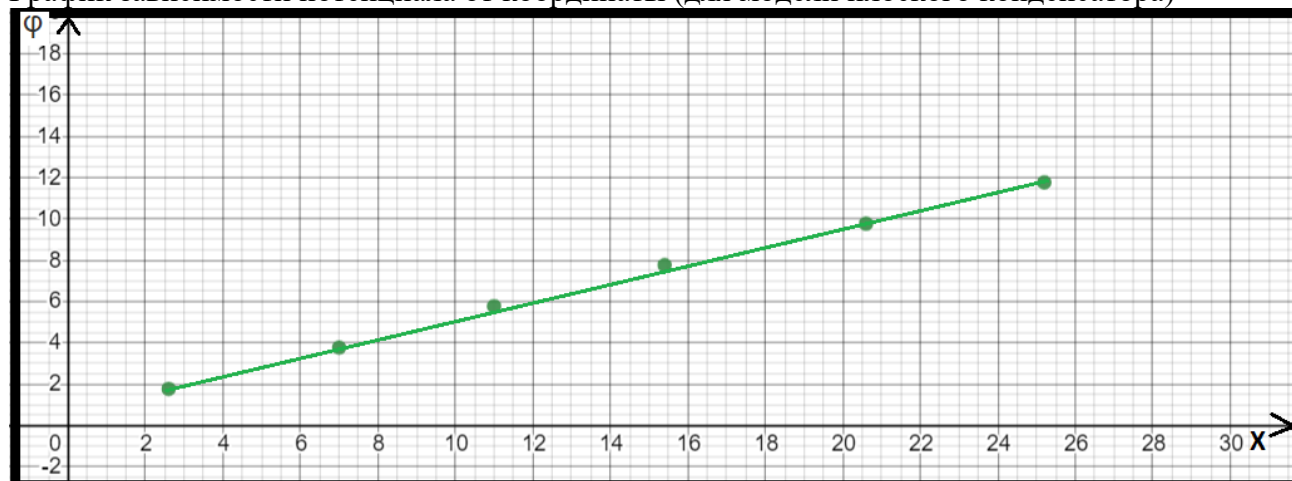


График зависимости потенциала от координаты (для конфигурации с проводящим кольцом)

