

Группа М3211

К работе допущен _____

Студент Низамутдинов Сидякин

Работа выполнена _____

Преподаватель Тимофеева Э.О

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. Нанести данные измерений на миллиметровку;
2. Построить сечения эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля на основе экспериментального моделирования распределения потенциала в слабопроводящей среде;
3. Проанализировать данные, рассчитать величины косвенных значений;
4. Построить графики зависимостей $\varphi = \varphi(X)$ для обеих конфигураций.

3. Объект исследования.

Слабопроводящая среда с размещенными в ней электродами - аналогия с электрическим полем в вакууме и в изотропной проводящей среде. Электрическое поле - модель электростатического при тех же потенциалах.

4. Метод экспериментального исследования.

Многократные измерения потенциала плоского конденсатора и нахождение эквипотенциальных поверхностей

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Средняя напряженность между точками

$$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}},$$

Поверхностная плотность зарядов на проводнике

$$\sigma' \cong -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell_n},$$

Электрическая постоянная

$$\varepsilon_0 \simeq 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta_E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial l} \Delta l\right)^2} = \frac{2}{3l} \sqrt{(\Delta_{\text{и}\varphi})^2 + \left(\frac{(\varphi_1 - \varphi_2)\Delta_{\text{ил}}}{l}\right)^2}$$

Погрешность косвенного значения

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2}; \quad z = f(x_1, x_2)$$

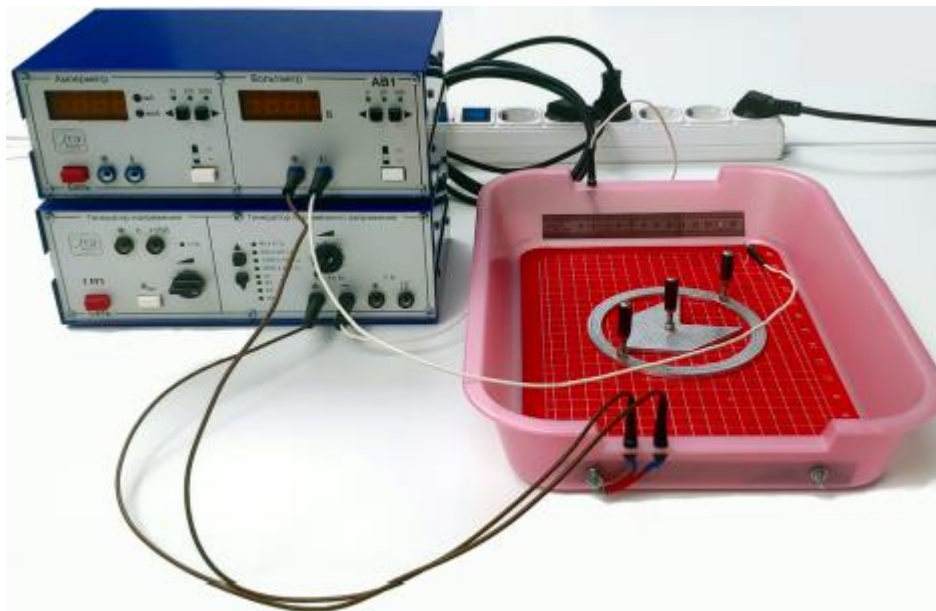
Относительная погрешность

$$\varepsilon_E = \frac{\Delta_E}{E} \cdot 100\%$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Генератор напряжения	Переменный ток	[0, 450] Гц	50 Гц
2	Вольтметр	Измерение потенциалов	[0.0, 20.0] В	0.05 В
3	Линейка	Измерение по оси абсцисс	[0.00, 0.18] м	0.0005 м
4	Линейка	Измерение по оси ординат	[0.00, 0.28] м	0.00025 м

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



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

Напряжённость электрического поля E можно найти по формуле:

$$E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x},$$

где $\Delta\varphi$ — разность потенциалов, а Δx — расстояние между точками измерений.

Без кольцевого проводника в центре:

Выберем точки в центре:

$$\varphi_1 = 5.5 \text{ В}, x_1 = 0.115 \text{ м}, \quad \varphi_2 = 3.5 \text{ В}, x_2 = 0.07 \text{ м}.$$

Тогда:

$$\Delta\varphi = 5.5 - 3.5 = 2 \text{ В}, \quad \Delta x = 0.115 - 0.07 = 0.045 \text{ м}.$$

$$E_{\text{центр}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{2}{0.045} \approx 44.4 \text{ В/м}.$$

Расчёт величины напряжённости в окрестности одного из электродов

Без кольцевого проводника

Точки у электрода:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= 12.6 \text{ В}, \quad x_1 = 0.28 \text{ м}, \quad \varphi_2 = 11.5 \text{ В}, \quad x_2 = 0.25 \text{ м}. \\ \Delta\varphi &= 12.6 - 11.5 = 1.1 \text{ В}, \quad \Delta x = 0.28 - 0.25 = 0.03 \text{ м}. \\ E_{\text{электрод}} &= \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1.1}{0.03} \approx 36.7 \text{ В/м}.\end{aligned}$$

Расчёт поверхностной плотности электрического заряда на электродах

Связь напряжённости E с поверхностной плотностью заряда σ :

$$\sigma = \varepsilon_0 \cdot E,$$

где $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$ — электрическая постоянная.

Без кольцевого проводника

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{центр}} &= 8.85 \times 10^{-12} \cdot 44.4 \approx 3.93 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2. \\ \sigma_{\text{электрод}} &= 8.85 \times 10^{-12} \cdot 36.7 \approx -3.24 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2.\end{aligned}$$

Максимальное напряжение с кольцевым проводником

Выберем аналогичные точки:

$$\varphi_1 = 5.85 \text{ В}, \quad x_1 = 0.078 \text{ м}, \quad \varphi_2 = 4.85 \text{ В}, \quad x_2 = 0.068 \text{ м}.$$

$$E_{\text{max1}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1}{0.01} \approx 33.3 \text{ В/м}.$$

$$\varphi_1 = 8.85 \text{ В}, \quad x_1 = 0.2225 \text{ м}, \quad \varphi_2 = 7.85 \text{ В}, \quad x_2 = 0.21 \text{ м}.$$

$$E_{\text{max2}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1}{0.0125} \approx 80 \text{ В/м}.$$

Оценка погрешности напряжённости

Погрешность для напряжённости

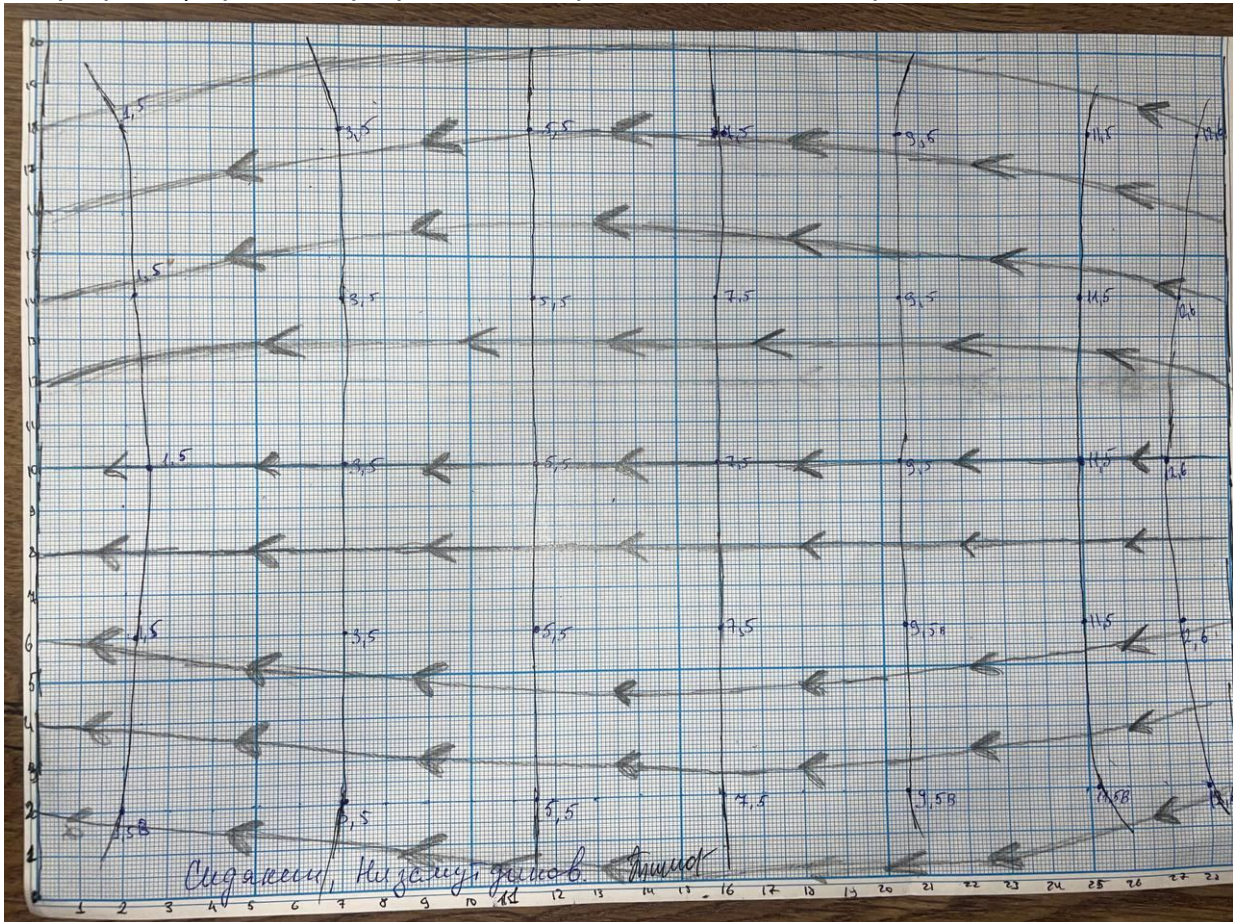
$$\delta E_{\text{центр}} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial l} \Delta l \right)^2}$$

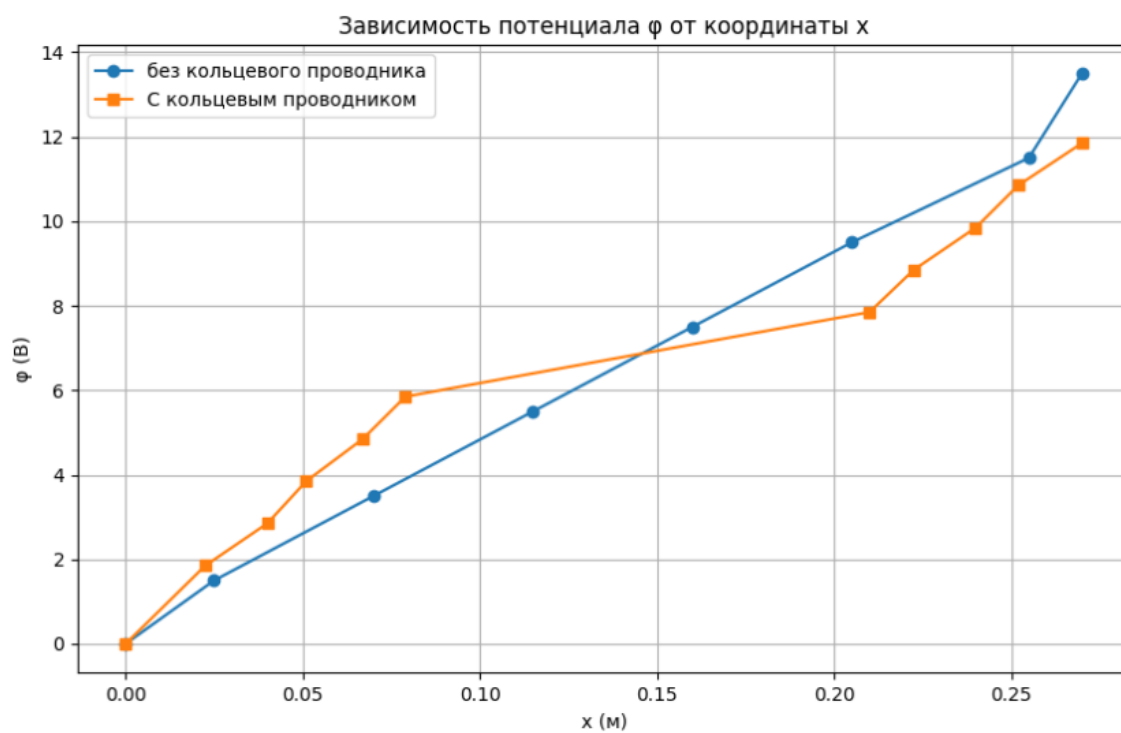
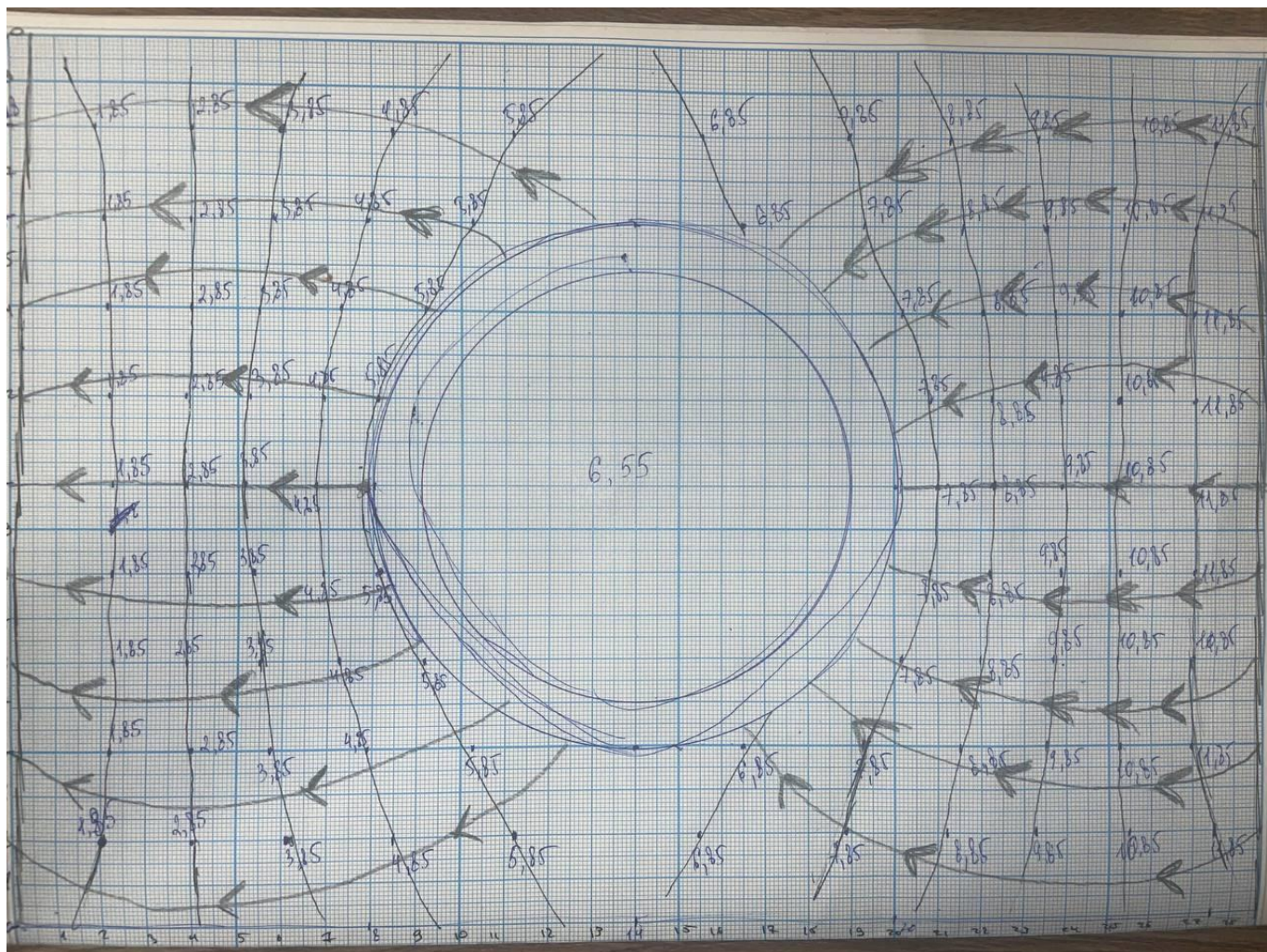
$$\delta E_{\text{центр}} = 4.64$$

$$\delta E_{\text{электрод}} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial l} \Delta l \right)^2}$$

$$\delta E_{\text{электрод}} = 6.91$$

9. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение





10. Окончательные результаты.

Величина напряженности в центре

$$E_{\text{центр}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{2}{0.045} \approx 44.4 \text{ В/м.}$$

Максимальное напряжение с кольцевым проводником

$$E_{\text{max1}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1}{0.01} \approx 33.3 \text{ В/м.}$$

$$E_{\text{max2}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1}{0.0125} \approx 80 \text{ В/м.}$$

Величина напряженности в окрестности электрода без кольцевого проводника

$$E_{\text{электрод}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1.1}{0.03} \approx 36.7 \text{ В/м.}$$

Величина напряженности в окрестности электрода с кольцевым проводником

$$E_{\text{электрод}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1.85}{0.02} \approx 92.5 \text{ В/м.}$$

Величина напряженности в окрестности электрода с кольцевым проводником

$$E_{\text{электрод}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{1.85}{0.02} \approx 92.5 \text{ В/м}$$

Плотность электрического заряда в центре без кольцевого проводника

$$\sigma_{\text{центр}} = 8.85 \times 10^{-12} \cdot 44.4 \approx 3.93 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

Плотность электрического заряда в окрестности электрода без кольцевого проводника

$$\sigma_{\text{электрод}} = 8.85 \times 10^{-12} \cdot 36.7 \approx -3.24 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

Плотность электрического заряда в центре с кольцевым проводником

$$\sigma_{\text{центр}} = 8.85 \times 10^{-12} \cdot 33.3 \approx 2.95 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

Плотность электрического заряда в окрестности электродов с кольцевым проводником

$$\sigma_{\text{электрод}} = 8.85 \times 10^{-12} \cdot 92.5 \approx 8.19 \times 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

Погрешность для напряжённости

$$\delta E_{\text{центр}} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial l} \Delta l \right)^2}$$

$$\delta E_{\text{центр}} = 4.64$$

$$\delta E_{\text{электрод}} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{\partial E}{\partial \varphi} \Delta \varphi \right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial l} \Delta l \right)^2}$$

$$\delta E_{\text{электрод}} = 6.91$$

11. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе работы были смоделированы две конфигурации электростатического поля – плоский конденсатор и поле с проводящим телом. Для каждого случая были построены эквипотенциальные срезы и силовые линии поля. Также рассчитаны значения величин напряженности поля в центре, в окрестности электродов.

Были получены следующие результаты: в электролитической ванне (конденсаторе) поле однородно, поэтому потенциал пропорционально растет весь путь, что подтверждается графиком. В то время как при наличии кольца из проводника поле уже очень неоднородно, кольцо создает поле, противодействующее внешнему, поэтому потенциал в кольце остается константным.