



РАБОЧИЙ ПРОТОКОЛ И ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3.01
"Изучение электростатического поля методом моделирования"

Группа: 1.3.1

Студент: Стафеев И.А., Голованов Д.И., Да-
нилов Н.О., Игнатъев А.Ю.

Преподаватель: Рудель А.Е.

К работе допущен:

Работа выполнена:

Отчет принят:

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

- Исследование конфигурации электростатического поля;
- Построение силовых линий поля;
- Определение напряжённости исследуемой точки;

3 Объект исследования

Электрическое поле в слабопроводящей среде, моделирующее электростатическое поле в вакууме.

4 Метод экспериментального исследования

Эмпирический. Сбор данных и их анализ.

5 Рабочие формулы и исходные данные

$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$ - вектор напряжённости электрического поля

$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_n(\vec{r})}{q}$ - энергетическая характеристика электрического поля - потенциал

$A_{12} = q(\varphi_2 - \varphi_1)$ - работа по перемещению заряда q

$\vec{E} = -\text{grad } \varphi = -\vec{\nabla} \varphi$ - значение напряжённости

$\varphi_2 - \varphi_1 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}$ - связь напряжённости и потенциала

$\vec{\nabla} \varphi = \hat{e}_x \frac{\delta \varphi}{\delta x} + \hat{e}_y \frac{\delta \varphi}{\delta y} + \hat{e}_z \frac{\delta \varphi}{\delta z}$ - градиент потенциала

$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$ -среднее значение напряжённости между двумя точками

$j = \sigma E$ - закон Ома в дифференциальной форме

$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$ - формула относительной погрешности

6 Измерительные приборы:

№	Наименование	Предел измерений	$\Delta_{\text{и}}$
1	Вольтметр	0-20 В	± 0.1 В
2	Линейка	0-28 см	± 0.1 см

Таблица 1 — Измерительные приборы

7 Схема установки

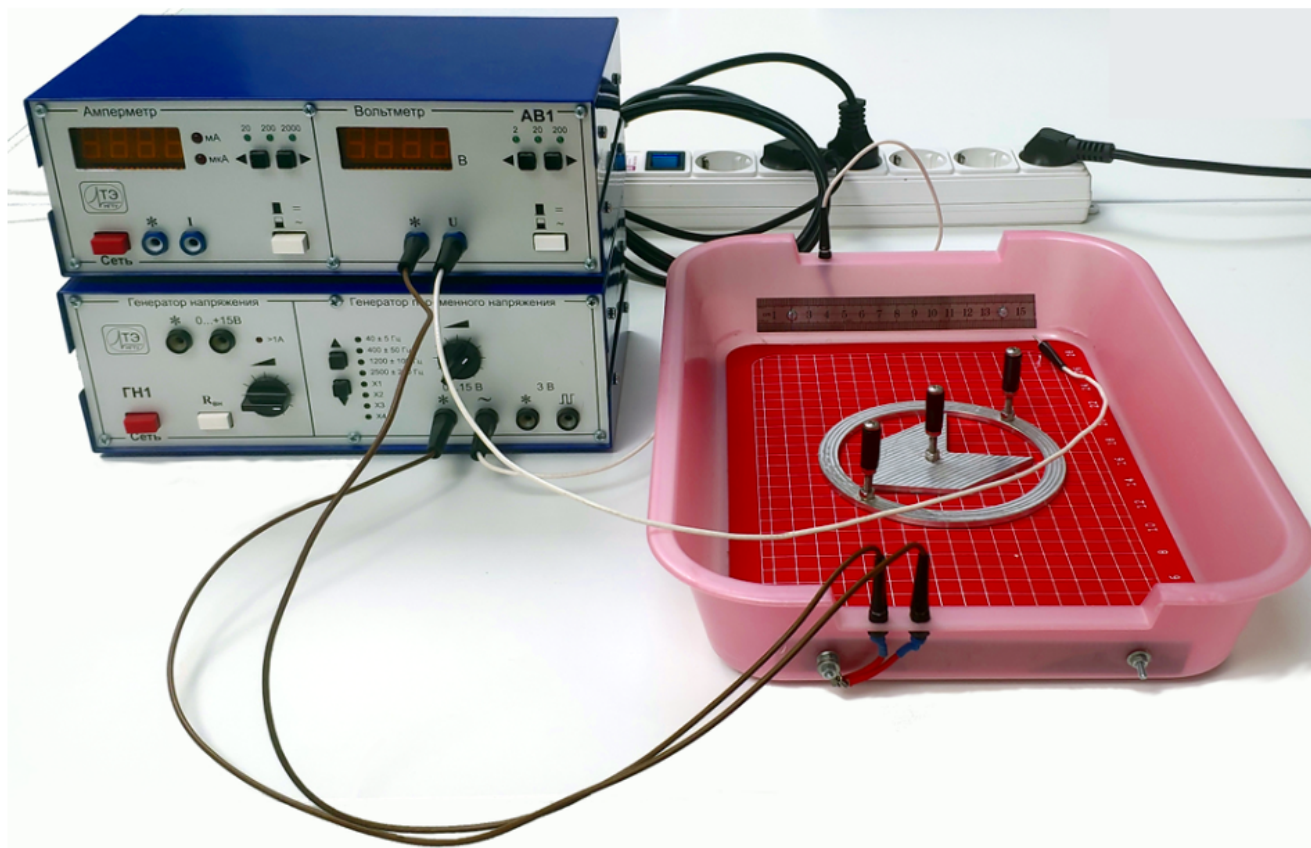


Рисунок 1 — Схема рабочей установки

Установка состоит из электролитической ванны, измерительного зонда, генератора напряжения, вольтметра и проводящего тела в виде кольца.

8 Прямые измерения

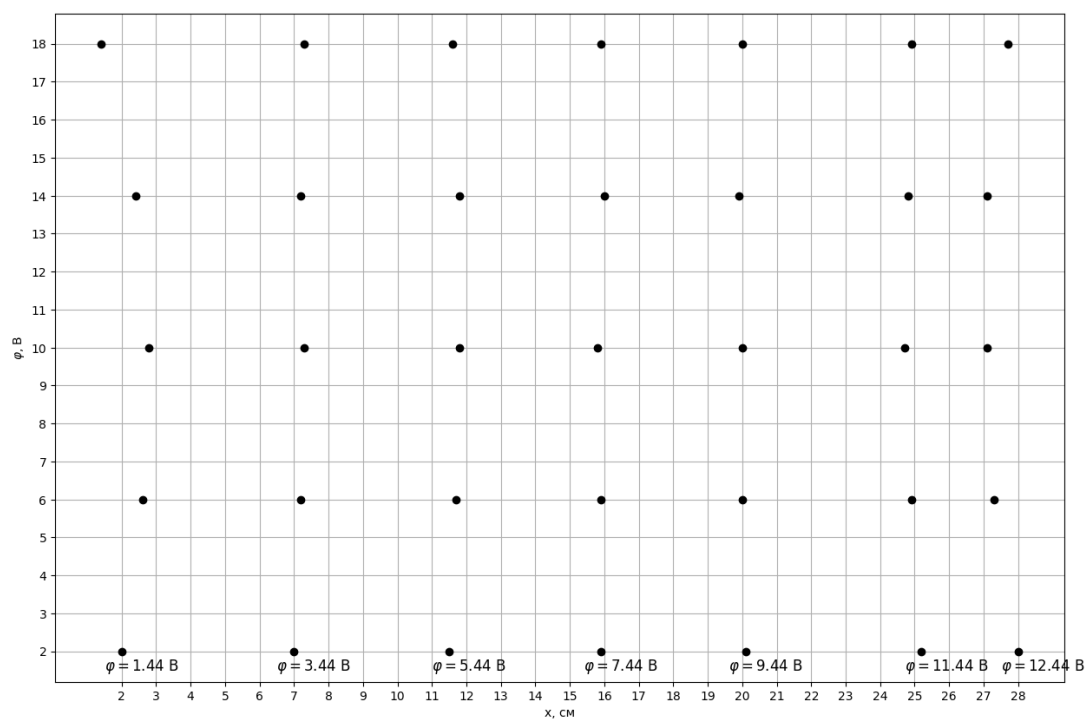


Рисунок 2 — Измерения для первого задания

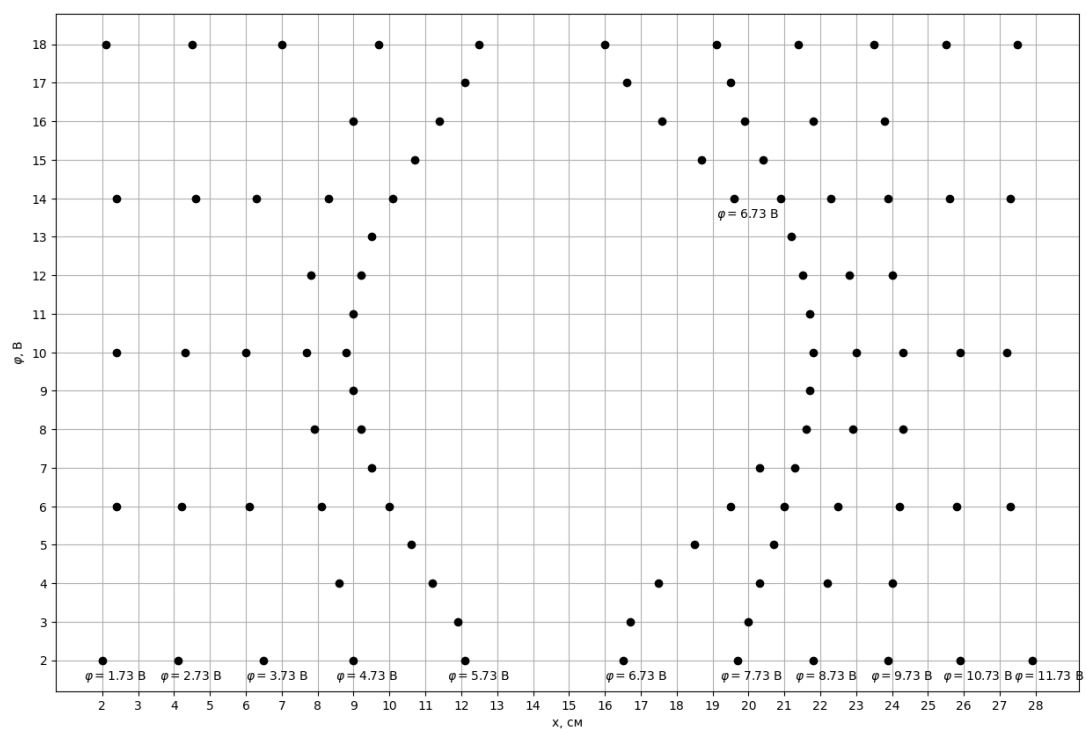


Рисунок 3 — Измерения для второго задания

9 Косвенные измерения

$$E_{\text{центра}} = \frac{7.44 - 5.44 \text{ В}}{0.159 - 0.118 \text{ м}} = 48.78 \text{ В/м}$$

$$E_{\text{электрода}} = \frac{14.02 - 12.44 \text{ В}}{0.036 \text{ м}} = 43.89 \text{ В/м}$$

$$\Delta \Delta \varphi = \sqrt{\left(\frac{\delta \Delta \varphi}{\delta \varphi_1} \Delta \varphi\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta \varphi}{\delta \varphi_2} \Delta \varphi\right)^2} = \sqrt{(1 \cdot \Delta \varphi)^2 + (-1 \cdot \Delta \varphi)^2} = \Delta \varphi \sqrt{2}$$

$$\Delta \Delta l = \sqrt{\left(\frac{\delta \Delta l}{\delta l_1} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{\delta \Delta l}{\delta l_2} \Delta l\right)^2} = \sqrt{(1 \cdot \Delta l)^2 + (-1 \cdot \Delta l)^2} = \Delta l \sqrt{2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\delta E}{\delta \Delta \varphi} \Delta \Delta \varphi\right)^2 + \left(\frac{\delta E}{\delta \Delta l} \Delta \Delta l\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \Delta \varphi}{\Delta l}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta \varphi \Delta \Delta l}{\Delta l^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \varphi \sqrt{2}}{\Delta l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi \Delta l \sqrt{2}}{\Delta l^2}\right)^2}$$

$$\Delta E_{\text{центра}} = 0.38 \text{ В/м}$$

$$\Delta E_{\text{электрода}} = 1.75 \text{ В/м}$$

$$\sigma'_{\text{пол.}} = -8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot \frac{12.44 - 14.02 \text{ В}}{0.036 \text{ м}} = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

$$\sigma'_{\text{отр.}} = -8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot \frac{0 - 1.44 \text{ В}}{0.036 \text{ м}} = 3.54 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

$E_{\text{min}} = 0 \text{ В/м}$ - напряженность минимальная и равна нулю внутри проводника

$E_{\text{max}} = \frac{7.73 - 6.63 \text{ В}}{0.0055 \text{ м}} = 181.82 \text{ В/м}$ - напряженность максимальна там, где расстояние между эквипотенциальными поверхностями минимальна (около кольца)

10 Графики

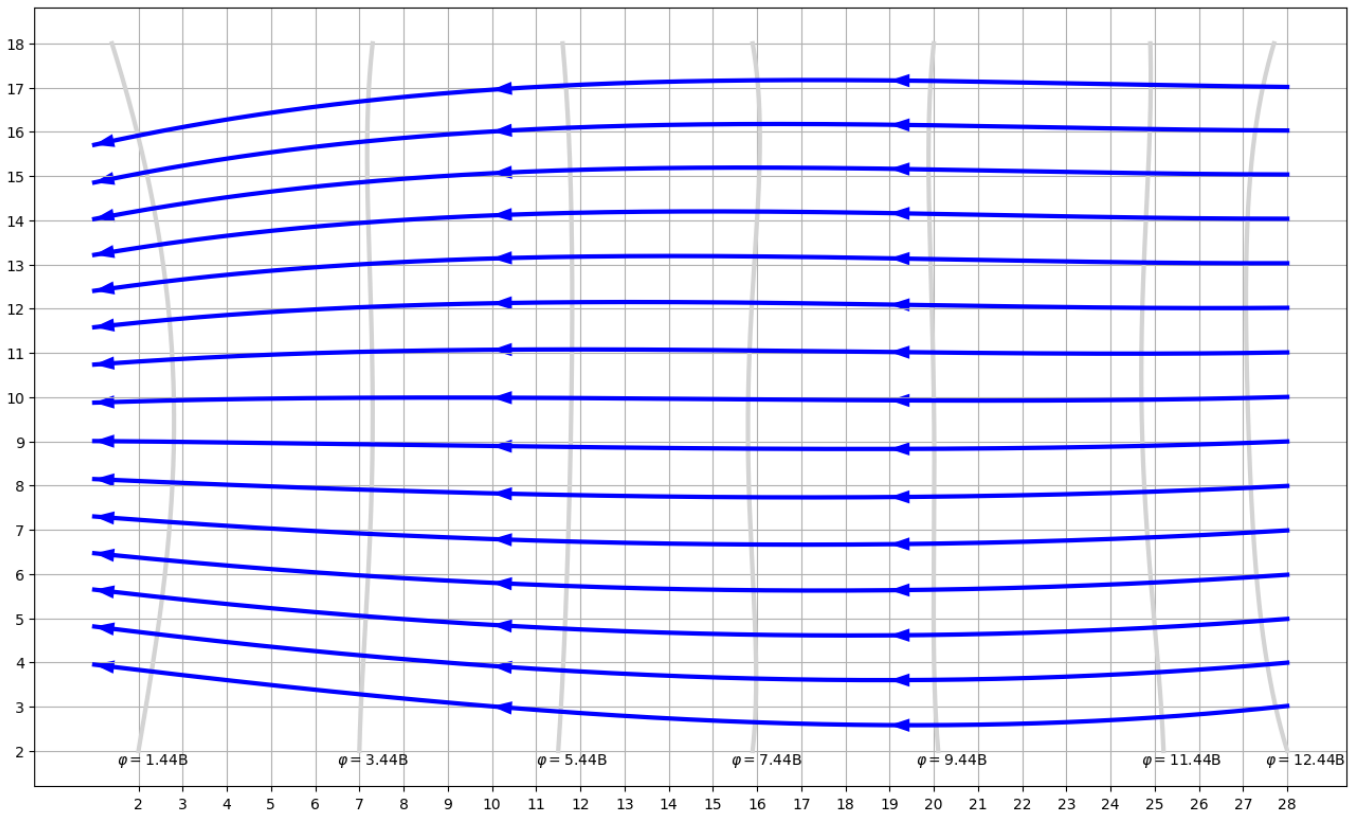


Рисунок 4 — Картина силовых линий для первого задания

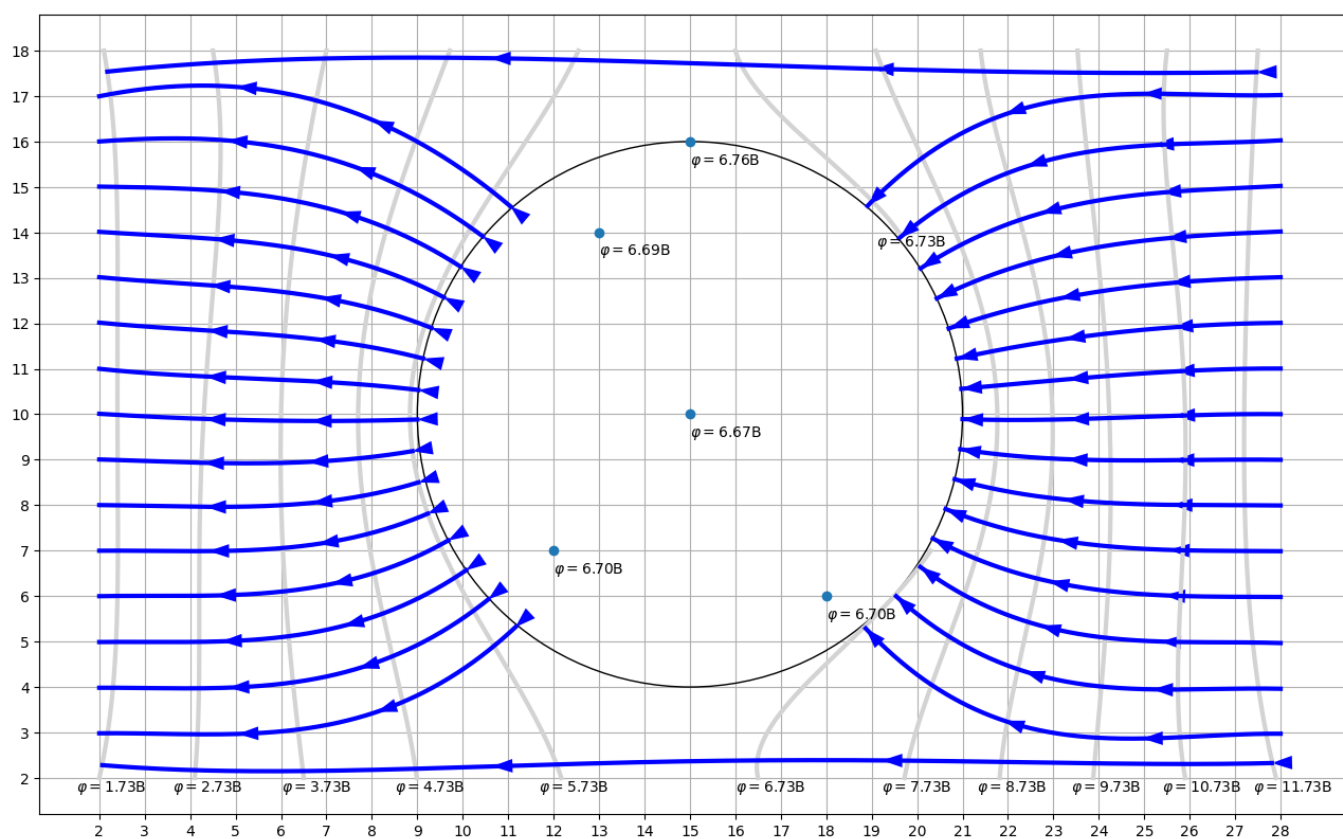


Рисунок 5 — Картина силовых линий для второго задания

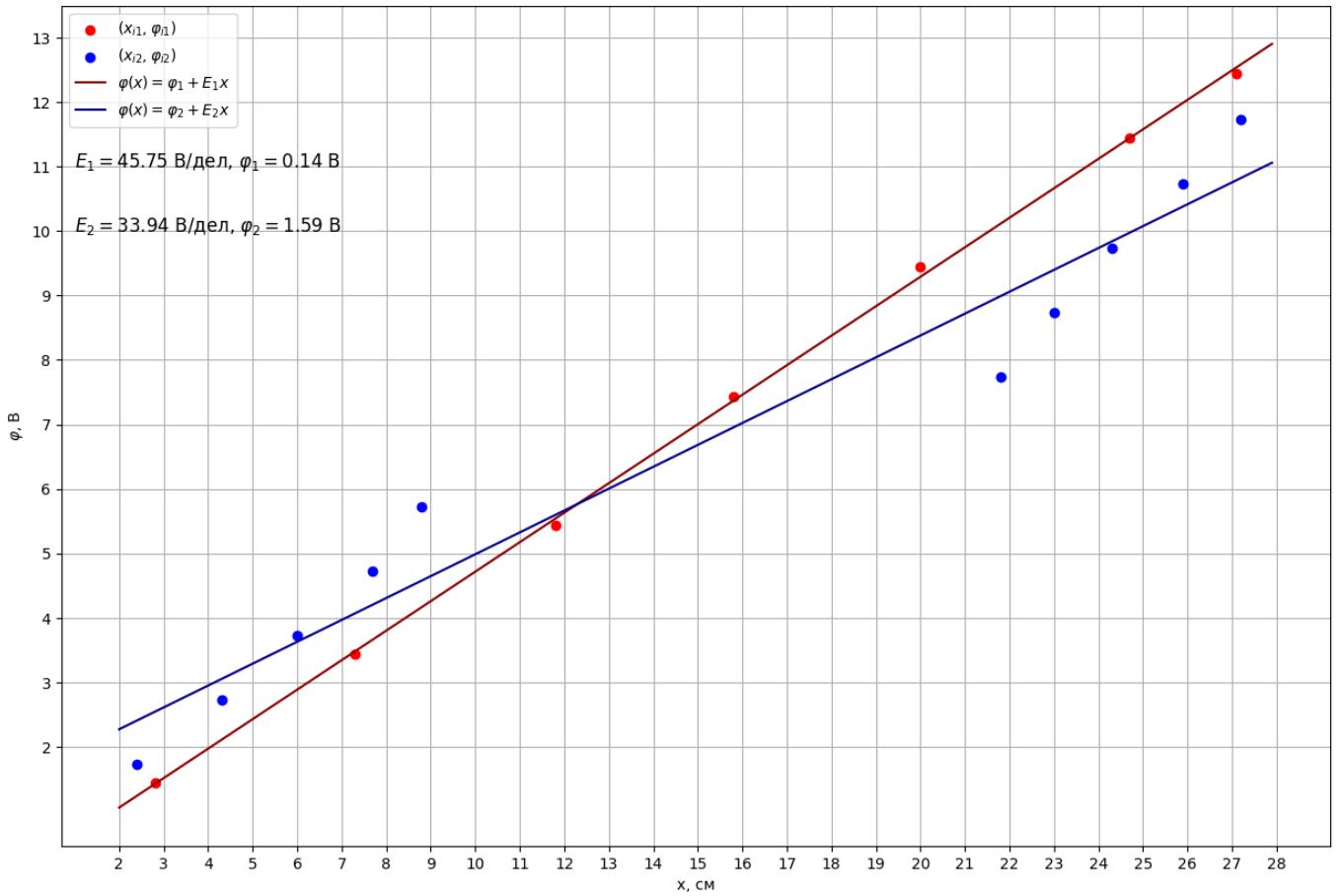


Рисунок 6 — График зависимости $\varphi(x)$ для первой и второй конфигурации

11 Окончательные результаты

$$E_{\text{центра}} = (48.78 \pm 0.38) \text{ В/м}; \varepsilon_{E_{\text{центра}}} = 0.78\%$$

$$E_{\text{электрода}} = (43.89 \pm 1.75) \text{ В/м}; \varepsilon_{E_{\text{электрода}}} = 3.98\%$$

$$\Delta E_{\text{центра}} = 0.38 \text{ В/м}$$

$$\Delta E_{\text{электрода}} = 1.75 \text{ В/м}$$

$$\sigma'_{\text{пол.}} = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

$$\sigma'_{\text{отр.}} = 3.54 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}^2$$

$$E_{\text{min}} = 0 \text{ В/м} - \text{напряженность минимальная и равна нулю внутри проводника}$$

$$E_{\text{max}} = 181.82 \text{ В/м} - \text{напряженность максимальна там, где расстояние между эквипотенциальными поверхностями минимальна (около кольца)}$$

12 Выводы и анализ результатов работы

В ходе выполнения лабораторной работы были рассчитаны значения напряжённости для центра электролитической ванны и для окрестности положительного электрода, а также вычислены плотности зарядов на обоих электродах. Значений напряжённости рассчитана абсолютная и относительная погрешность. Для модели электрического поля с проводящим кольцом были найдены наибольшее и наименьшее значения напряжённости. Наименьшее оказалось внутри кольца, наибольшее – рядом с ним. Построен график зависимости потенциала от координаты для обеих моделей поля. По графику можно сделать вывод, что потенциал возрастает вдоль оси абсцисс от отрицательного электрода к положительному, потенциал любой точки внутри проводящего кольца равен

потенциалу на его поверхности. Для первой конфигурации (плоский конденсатор) потенциал линейно зависит от координаты, для второй конфигурации (с проводящим кольцом) - нет (зависимость похожа на гиперболу).