

Группа _____ Р3207 _____ К работе допущен

Студент _____ Садовой Г. В. _____ Работа выполнена _____

Преподаватель _____ Терещенко Г.В _____ Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.01

Изучение электростатического поля методом моделирования

Цель работы.

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

Задачи, решаемые при выполнении работы:

- С помощью лабораторной установки получение системы эквипотенциальных поверхностей при наличии проводящего тела и без него.
- Изображение эквипотенциальных линий
- Изображение системы силовых линий поля с указанием направления
- Рассчитать величину напряженности в центре электролитической ванны и в окрестности одного из электродов.
- Нахождение области с минимальной и максимальной напряженностью
- Построение графика зависимости $\varphi = \varphi(x)$ для двух исследованных конфигураций поля для «горизонталей» $Y = 10$ см

Объект исследования — Модель плоского конденсатора

Метод экспериментального исследования.

Заполнить ванну не дистиллированной водой, чтобы она проводила электрический ток, зондом промерить разность потенциалов между одним из электродов и точками в ванночке

Рабочие формулы и исходные данные.

Напряженность в центре электролитической ванны и окрестности одного из электродов:

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

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах:

$$\sigma' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell_n} \quad \sigma' = \varepsilon_0 E_n$$

Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Деления	Погрешность прибора
1	Вольтметр	Электрический	0.01 В	0.01 В
2	Линейка	Измерительный	0.1 см	0.05 см

Схема установки.

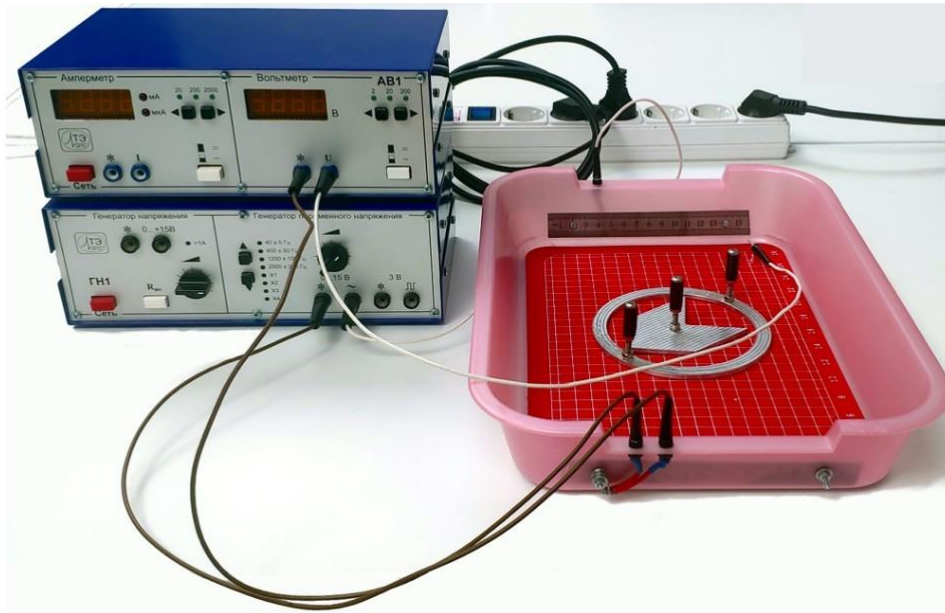


Рисунок 1: Общий вид экспериментальной установки

Результаты прямых измерений и их обработки.

Напряженность в окрестности центра электролитической ванны:

$$E_{\text{центр}} \approx \frac{7,3 - 5,8}{0,167 - 0,119} = \frac{1,5}{0,048} \approx 31,25 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Напряженность в окрестности электрода:

$$E_{\text{прав. край}} \approx \frac{11,5 - 9,9}{0,265 - 0,216} = \frac{1,6}{0,049} \approx 32,65 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Расчет результатов косвенных измерений

Вычислим поверхностную плотность электрического заряда на электродах

$$\sigma' = \varepsilon_0 \cdot E_{\text{прав. край}} = -8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 32,65 \approx -288,98 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Самая большая напряженность электрического поля будет там, где силовые линии идут ближе всего друг к другу, а эквипотенциальные линии идут чаще всего. То есть она будет у внешней поверхности кольца, потому что именно там силовые линии скручиваются

$$E_{\text{max}} = \frac{7,8 - 7,1}{0,0039 - 0,0016} = \frac{0,7}{0,0023} \approx 304,35 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Следовательно, минимальная напряжённость — во внутренней части кольца, где силовые линии максимально разрежены, и напряжённость приближается к нулю.

Расчет погрешностей измерений

Выведем формулы для расчета погрешности напряженности:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\delta\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l_{12}}\right)}{\delta\varphi_1} \Delta\varphi_1\right)^2 + \left(\frac{\delta\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l_{12}}\right)}{\delta\varphi_2} \Delta\varphi_2\right)^2 + \left(\frac{\delta\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l_{12}}\right)}{\delta l_{12}} \Delta l_{12}\right)^2} = \sqrt{2\left(\frac{\Delta\varphi}{l}\right)^2 + \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l^2} \Delta l\right)^2}$$

Выведем формулу для расчета поверхностной плотности:

$$\Delta\sigma' = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(-\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{l_n}\right)}{\partial\varphi} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(-\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{l_n}\right)}{\partial l_n} \Delta l_n\right)^2} = \varepsilon_0 \sqrt{\left(\frac{1}{l_n} \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi}{l_n^2} \Delta l_n\right)^2}$$

Погрешность напряженности в центре будет рассчитываться по формуле:

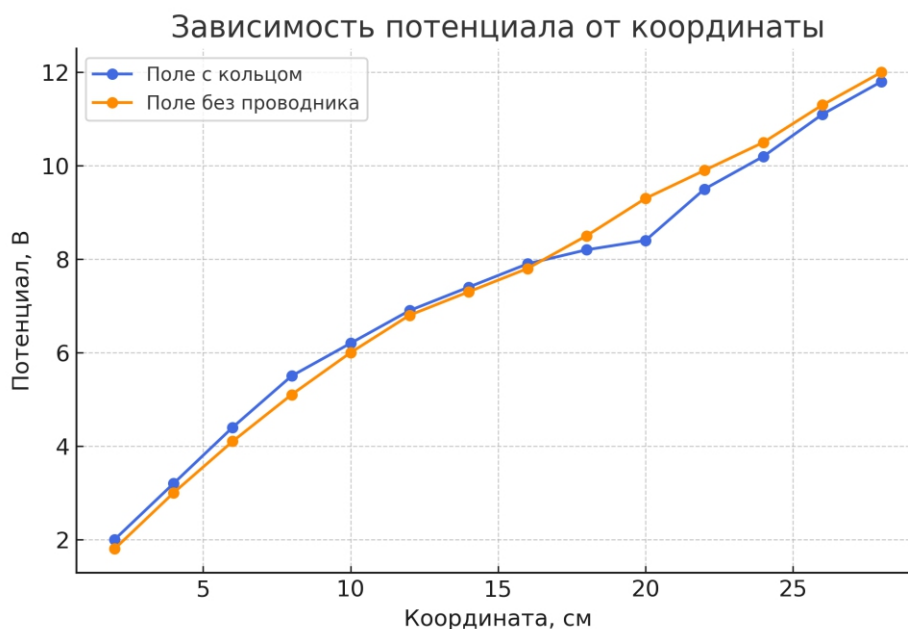
$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{центр}} &= \sqrt{2 \cdot \left(\left(\frac{0,1}{0,048} \right)^2 + \left(\frac{7,3 - 5,8}{0,048^2} \cdot 0,005 \right)^2 \right)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot ((2,083)^2 + (1,5/0,002304 \cdot 0,005)^2)} = \sqrt{2 \cdot (4,34 + 2,57)} = \sqrt{13,82} \approx 3,72 \frac{\text{В}}{\text{м}} \end{aligned}$$

Погрешность напряженности вблизи правого электрода будет рассчитываться по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{прав. край}} &= \sqrt{2 \cdot \left(\left(\frac{0,1}{0,049} \right)^2 + \left(\frac{11,5 - 9,9}{0,049^2} \cdot 0,005 \right)^2 \right)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot ((2,041)^2 + (1,6/0,002401 \cdot 0,005)^2)} = \sqrt{2 \cdot (4,17 + 2,49)} = \sqrt{13,31} \approx 3,65 \frac{\text{В}}{\text{м}} \end{aligned}$$

Погрешность поверхностной плотности рассчитаем по формуле:

$$\Delta\sigma' = \varepsilon_0 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{l} \cdot \Delta\varphi\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi}{l^2} \cdot \Delta l\right)^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{0,049} \cdot 0,1\right)^2 + \left(\frac{1,6}{0,049^2} \cdot 0,005\right)^2} = 3,46 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$



Окончательные результаты.

Напряжённость поля в центре плоского конденсатора:

$$\langle E_{\text{центр}} \rangle = (31,25 \pm 5,47) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$
$$\delta \langle E_{\text{центр}} \rangle = \frac{5,47}{31,25} \cdot 100\% \approx 17,5\%$$

Напряженность поля рядом с крайним левым электродом:

$$\langle E_{\text{прав. край}} \rangle = (32,65 \pm 5,53) \frac{\text{В}}{\text{м}}$$
$$\delta \langle E_{\text{прав. край}} \rangle = \frac{5,53}{32,65} \cdot 100\% \approx 16,9\%$$

Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma' = -(288,98 \pm 34,58) \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$
$$\delta \langle \sigma' \rangle = \frac{34,58}{288,98} \cdot 100\% \approx 11,97\%$$

Максимальная напряжённость поля:

$$\langle E_{\text{max}} \rangle = (304,35 \pm 37,74) \text{ В/м}$$
$$\delta = 12,4\%$$

Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы были исследованы характеристики электростатического поля с помощью моделирования в электролитической ванне. Построены эквипотенциальные поверхности и силовые линии, отражающие структуру поля между электродами. По результатам измерений рассчитаны значения напряжённости поля в разных участках и определена поверхностная плотность заряда на электродах.

Также был построен график зависимости потенциала от координаты для двух конфигураций: с наличием проводящего кольца и без него. Установлено, что в отсутствии проводящего тела график имеет почти линейный вид, а при наличии проводника — становится нелинейным, что отражает перераспределение поля. Максимальная напряжённость наблюдается вблизи внешней части кольца, где силовые линии наиболее сгущены, что соответствует теоретическим представлениям о распределении поля.

