
Группа **Р3115** Работа выполнена 04.02.2021
Студент **Девяткин Арсений** Отчет сдан _____
Преподаватель **Боярский К.К.** 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.

Схема установки

Измерительные приборы

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование</i>	<i>Используемый диапазон</i>	<i>Погрешность прибора</i>
1	Генератор напряженности ГН1		
2	Комбинированный Амперметр и Вольтметр АВ1		0,1 В
3	Ванна со слабым электролитом		0,75 мм

Результаты прямых измерений

Приложение 1,2 – два листа миллиметровой бумаги с отмеченными на них эквипотенциальными линиями, линиями напряженности, контурами электродов (для конфигурации с диском также контур диска)

Расчет результатов косвенных измерений

Значение потенциала в точке с координатами $[0; 10]$ – 0,38 В

Значение потенциала в точке с координатами $[28,6; 10]$ – 14,2 В

Тогда можем вычислить напряженность в центре отрезка, соединяющего данные точки (это и будет напряженность в центре электролитической ванны) по формуле:

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

Напряженность в точке с координатами [14,3;10] (центр электролитической ванны)

$$\frac{14,2 - 0,38}{28,6} = 0,483 \frac{\text{В}}{\text{см}} = 48,3 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассмотрим напряженность в окрестности анода (правого электрода). Возьмем окрестность [24,5; 14] – [28,6; 6]. В этой области присутствуют 4 силовые линии, так что высчитаем напряженность в середине каждой из них, и сделаем вывод о средней напряженности в данной области.

Первый отрезок:

Потенциал левого конца – 11,67 В [24,8;14]

Потенциал правого конца – 14,1 В [28,6;14]

Разница потенциалов: 2,43 В

Длина отрезка: 3,8 см

Среднее значение напряженности на отрезке: 0,64 В/см

Второй отрезок:

Потенциал левого конца – 11,67 В [24,7;12]

Потенциал правого конца – 14,2 В [28,6;11,6]

Разница потенциалов: 2,53 В

Длина отрезка: 3,92 см

Среднее значение напряженности на отрезке: 0,65 В/см

Третий отрезок:

Потенциал левого конца – 11,67 В [24,6;8,8]

Потенциал правого конца – 14,1 В [28,6;8,8]

Разница потенциалов: 2,43 В

Длина отрезка: 4 см

Среднее значение напряженности на отрезке: 0,61 В/см

Четвертый отрезок:

Потенциал левого конца – 11,67 В [24,7;7,2]

Потенциал правого конца – 14,1 В [28,6;7,1]

Разница потенциалов: 2,43 В

Длина отрезка: 3,9 см

Среднее значение напряженности на отрезке: 0,62 В/см

Таким образом можем заключить, что напряженность в окрестности анода $0,63 \text{ В/см} = 63 \text{ В/м}$

Расчет поверхностной плотности:

Потенциал на поверхности проводника в точке [28,6; 10] равен 14,2 В

Потенциал в точке [24,7; 10] равен 11,67 В

Тогда вычислим приблизительную поверхностную плотность электрического заряда на электродах по формуле:

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

$$-8,85 * 10^{-12} * \frac{2,53}{0,039} = -5,74 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

При конфигурации с проводящим кольцом максимальная напряженность достигается вблизи самого кольца, у экватора, см. приложение 2.

Значение максимальной напряженности: $\frac{0,86}{0,008\text{м}} = 107,5 \frac{\text{В}}{\text{м}}$

Минимальная напряженность E_{\min} достигается ближе к краям установки, вблизи линии, являющейся продолжением диаметра кольца, параллельного электродам см. приложение 2.

Значение минимальной напряженности: $\frac{1}{0,05\text{м}} = 20 \frac{\text{В}}{\text{м}}$

Расчет погрешностей

Поскольку прямые измерения проводились однократно, за их абсолютную погрешность принимаем инструментальную погрешность:

+0,1 В для вольтметра

+0,075 мм для координатной сетки

Длина отрезка – результат косвенного измерения, её зависимость от координат:

$$f(x_1, x_2, y_1, y_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Рассчитаем погрешность для длины первого отрезка:

$$X_1 = 24,8 \pm 0,075 \text{ см}$$

$$X_2 = 28,6 \pm 0,075 \text{ см}$$

$$Y_1 = 14 \pm 0,075 \text{ см}$$

$$Y_2 = 14 \pm 0,075 \text{ см}$$

Тогда частная производная в общем виде

$$f' = (\sqrt{k^2 - 2qk + q_1})' = \frac{1}{2\sqrt{k^2 - 2qk + q_1}} * (2k - 2q) = \frac{k - q}{\sqrt{k^2 - 2qk + q_1}}$$

Где $k = x_1, x_2, y_1, y_2$;

q – число, вторая координата (например, если частная производная по x_1 , то это x_2)

q_1 – разница координат другой оси

Тогда абсолютная погрешность длины :

$$\Delta_l = \sqrt{\left(\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{x_1^2 - 2x_1x_2 + y_2 - y_1}} * 0,075\right)^2 + \left(\frac{x_2 - x_1}{\sqrt{x_2^2 - 2x_1x_2 + y_2 - y_1}} * 0,075\right)^2 + \left(\frac{y_1 - y_2}{\sqrt{y_1^2 - 2y_2y_1 + x_2 - x_1}} * 0,075\right)^2 + \left(\frac{y_2 - y_1}{\sqrt{y_2^2 - 2y_2y_1 + x_2 - x_1}} * 0,075\right)^2}$$

Handwritten calculation of Δ_l on grid paper:

$$\Delta_l = \sqrt{\left(\frac{24,8 - 28,6}{\sqrt{24,8^2 - 2 \cdot 24,8 \cdot 28,6 + 14 - 14}} * 0,075\right)^2 + \left(\frac{28,6 - 24,8}{\sqrt{28,6^2 - 2 \cdot 24,8 \cdot 28,6 + 14 - 14}} * 0,075\right)^2 + \left(\frac{0 \cdot 0,075}{\sqrt{0,075^2}}\right)^2 + \left(\frac{0 \cdot 0,075}{\sqrt{0,075^2}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{-0,285}{\sqrt{615,04 - 1624,48}}\right)^2 + \left(\frac{0,285}{\sqrt{817,96 - 1624,48}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,285}{1009,44}\right)^2 + \left(\frac{0,285}{-806,52}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(0,00028)^2 + (0,00035)^2} = 0,00045 \text{ cm}$$

$$\Delta_l = 0,00045 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta_l}{l} = \frac{0,00045}{3,8} = 0,00012$$

Зависимость средней напряженности от разности потенциалов и длины описывается уравнением:

$$E = f(\varphi_1, \varphi_2, l) = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l}$$

Тогда абсолютная погрешность напряженности :

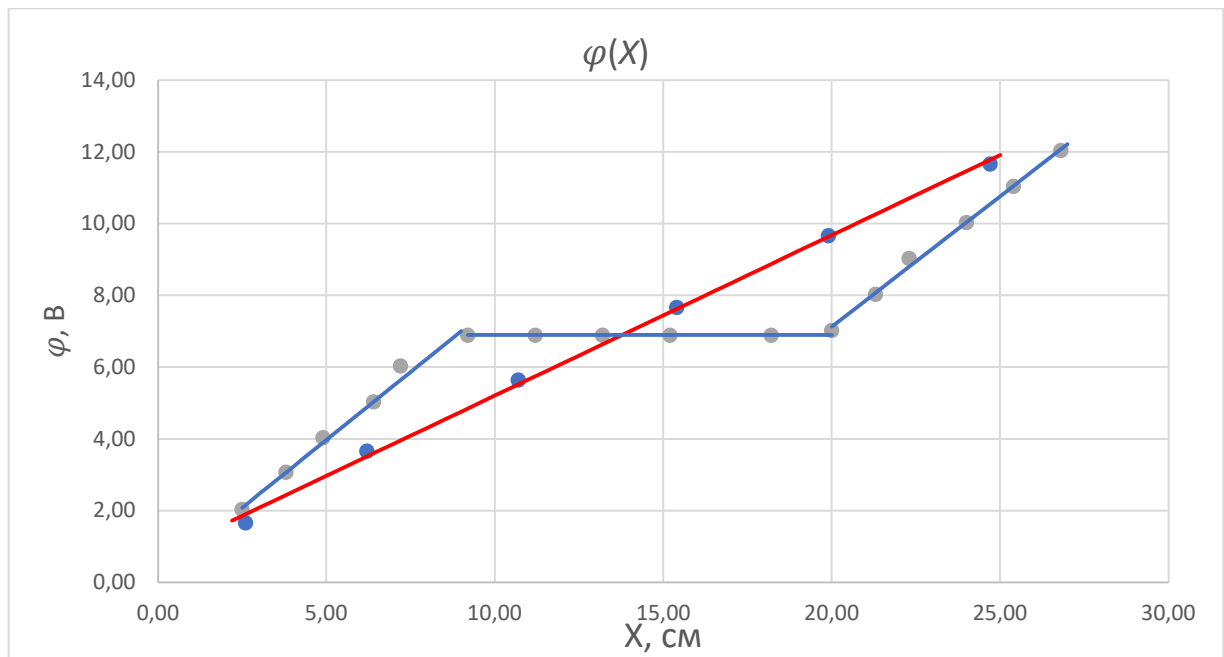
$$\Delta_E = \sqrt{\left(\frac{1}{l} * 0,1\right)^2 + \left(\frac{-1}{l} * 0,1\right)^2 + \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{-l^2} * 0,00012\right)^2} =$$

$$\sqrt{\frac{0,01}{3,8^2} + \frac{0,01}{3,8^2} + \left(\frac{2,43 * 0,00012}{14,44}\right)^2} =$$

$$\sqrt{0,0014 + 4,07 * 10^{-10}} = 0,037 \frac{\text{В}}{\text{см}} = 3,7 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Графики

Зависимость потенциала от координаты по оси X при различных конфигурациях



Окончательные результаты

Напряженность в центре электролитической ванны при конфигурации без кольца $E_{ц1} = (48,3 \pm 3,7) \frac{В}{м}$

Напряженность в центре электролитической ванны при конфигурации с проводящим кольцом $E_{ц2} = 0 \frac{В}{м}$

Напряженность в окрестности анода

$$E_a = (63 \pm 3,7) \frac{В}{м}$$

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах

$$\sigma = -5,74 * 10^{-1} \frac{Кл}{м^2}$$

Максимальной напряженности (в конфигурации с кольцом):

$$E_{max} = 107,5 \pm 3,7 \frac{В}{м}$$

Минимальной напряженности (в конфигурации с кольцом):

$$E_{min} = 20 \pm 3,7 \frac{В}{м}$$

Выводы

Конфигурация поля с проводящим кольцом отличается тем, что силовые линии замыкаются на самом кольце нормально к его поверхности, а также он изгибает вокруг себя эквипотенциальные линии.

Потенциал на поверхности и внутри проводящего кольца одинаков, соответственно напряженность в этой области равна нулю.

Конфигурация плоского конденсатора создает поле, близкое к однородному, с почти параллельными эквипотенциальными и силовыми линиями.