
Группа _____ Р3110 _____ К работе допущен _____
Студент _____ Цыпандин Николай Петрович _____ Работа выполнена _____
Преподаватель _____ Коробков М.П. _____ 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

- 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 «горизонтали» $Y = 10$ см.

3) Объект исследования

Модель плоского конденсатора

4) Метод экспериментального исследования

Многократные измерения потенциала плоского конденсатора и нахождение эквипотенциальных поверхностей

5) Рабочие формулы и исходные данные

$\langle E_{12} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}$ (1) – средняя напряженность между точками

l_{12} - длина участка силовой линии между точками

$\sigma' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n}$ (2) - поверхностная плотность зарядов на проводнике

$\varepsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} = \frac{\text{кЛ}}{\text{В*м}}$ - электрическая постоянная, $\Delta\varphi$ – изменение потенциала при смещении на малое расстояние Δl_n по нормали к поверхности проводника.

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

$\varepsilon_E = \frac{\Delta_E}{E} \cdot 100\%$ (4) - относительная погрешность напряженности

6) Измерительные приборы

№ п/п	Наименование	Цена деления	Погрешность прибора
1	Вольтметр	0,01 В	0,005 В
2	Линейка	0,1 см	0,05 см

7) Схема установки.

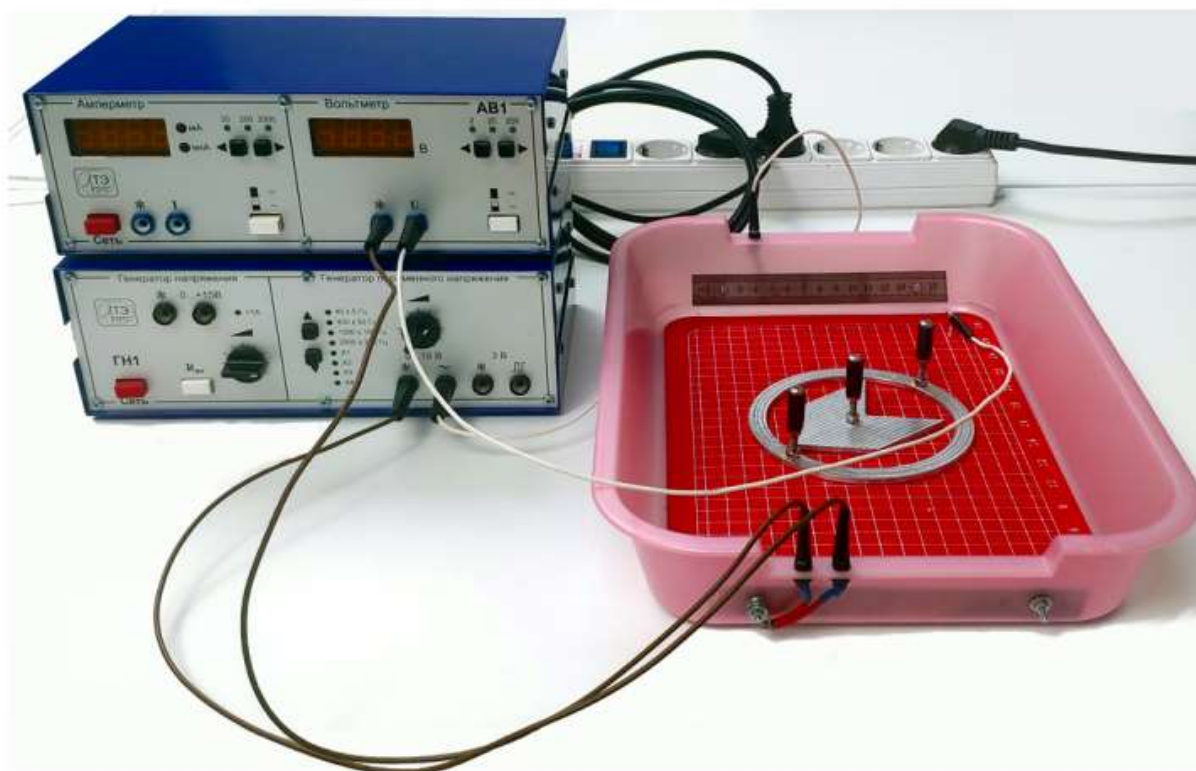
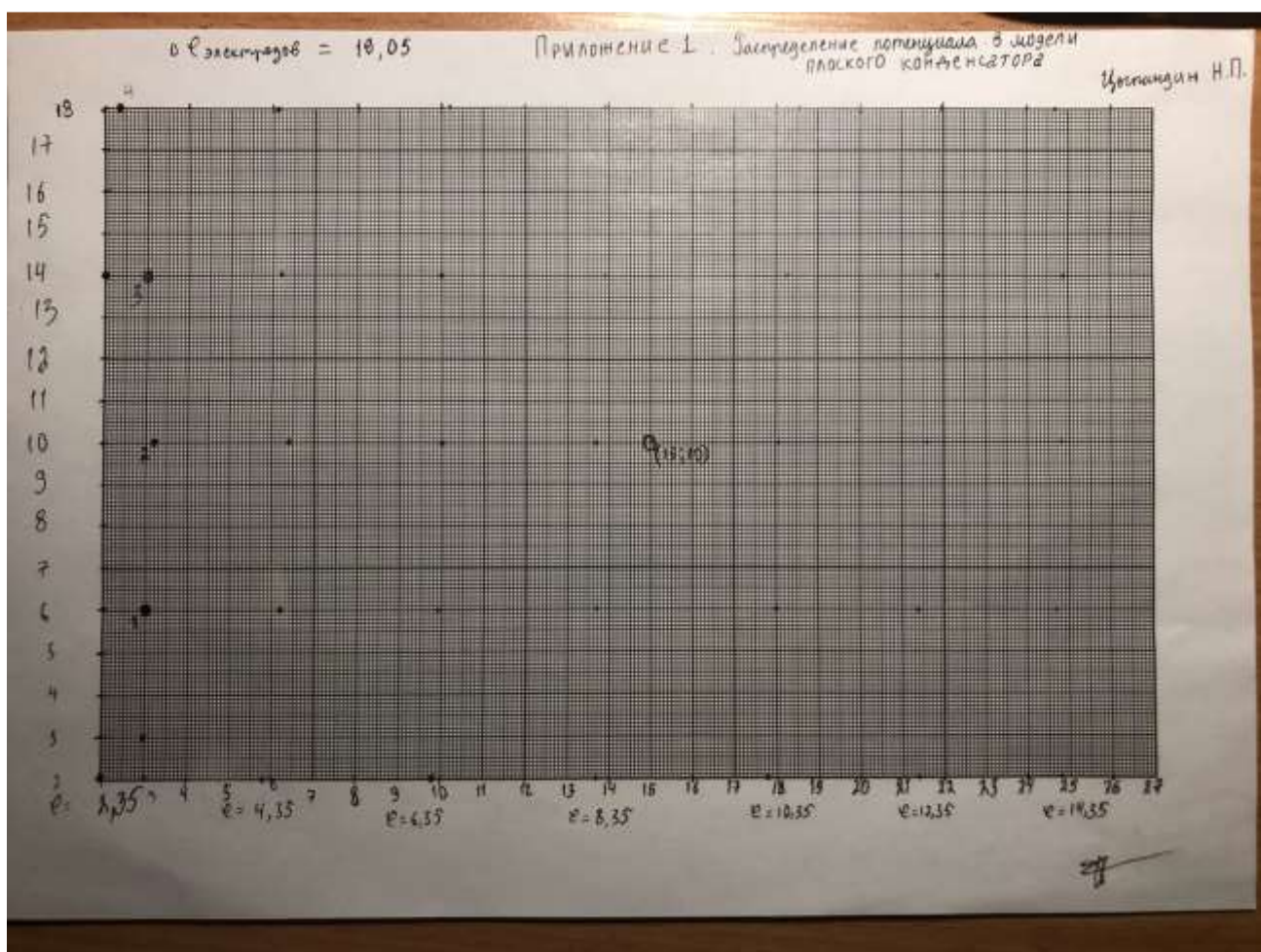
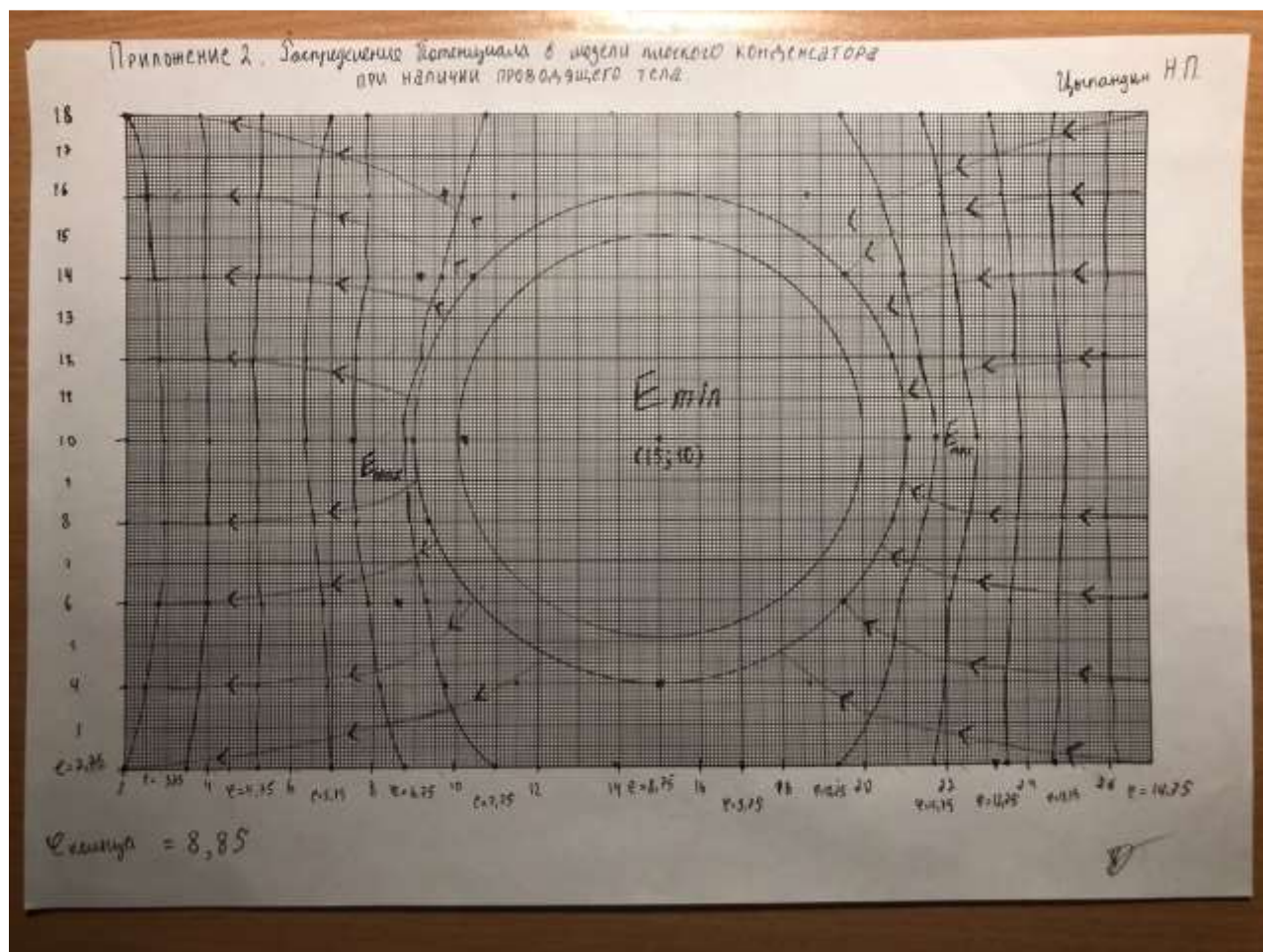


Рис. 4. Общий вид лабораторной установки.

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. Во время измерения второй конфигурации в ванну помещено проводящее тело в форме кольца.

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





Измерения проводились:

Понедельник 1 Март 2021 13:00 – 13:50

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

По формуле (1) рассчитаем напряженность в окрестности центра электролитической ванны:

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

Координаты центра ванны: $x = 15, y = 10$

$$\varphi_1 = 10,35 \text{ В} \quad \varphi_2 = 8,35 \text{ В} \quad l_{12} = 4,1 \text{ см} = 0,041 \text{ м}$$

$$\langle E_{\text{ц}} \rangle = \frac{10,35 - 8,35}{0,041} = \frac{2}{0,041} \approx 48,78 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

По этой же формуле найдем напряженность в окрестности электрода

$$\varphi_1 = 4,35 \text{ В} \quad \varphi_2 = 2,35 \text{ В} \quad l_{12} = 3,8 \text{ см} = 0,038 \text{ м}$$

$$\langle E_{\text{э}} \rangle = \frac{4,35 - 2,35}{0,038} = \frac{2}{0,038} \approx 52,63 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

С помощью формулы (2) вычислим поверхностную плотность электрического заряда на электродах

$$\sigma'_1 \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{\Delta l_n} = -8,85 * 10^{-12} * \frac{2}{0,038} = -4,66 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma'_2 \cong -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n} = -8,85 * 10^{-12} * \frac{2}{0,041} = -4.32 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Оценка минимальной и максимальной напряженности:

Минимальная напряженность будет при r (расстояние от точки до центра кольца) $< R$ (радиус кольца):

$$E_{\min} = 0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Максимальная напряженность будет близи кольца, то есть при $r \geq R$:

$$E_{\max} = \frac{7,75-6,75}{0,022} = \frac{1}{0,022} \approx 45,45 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

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

Для прямых измерений: 0.005 В

Для косвенных измерений:

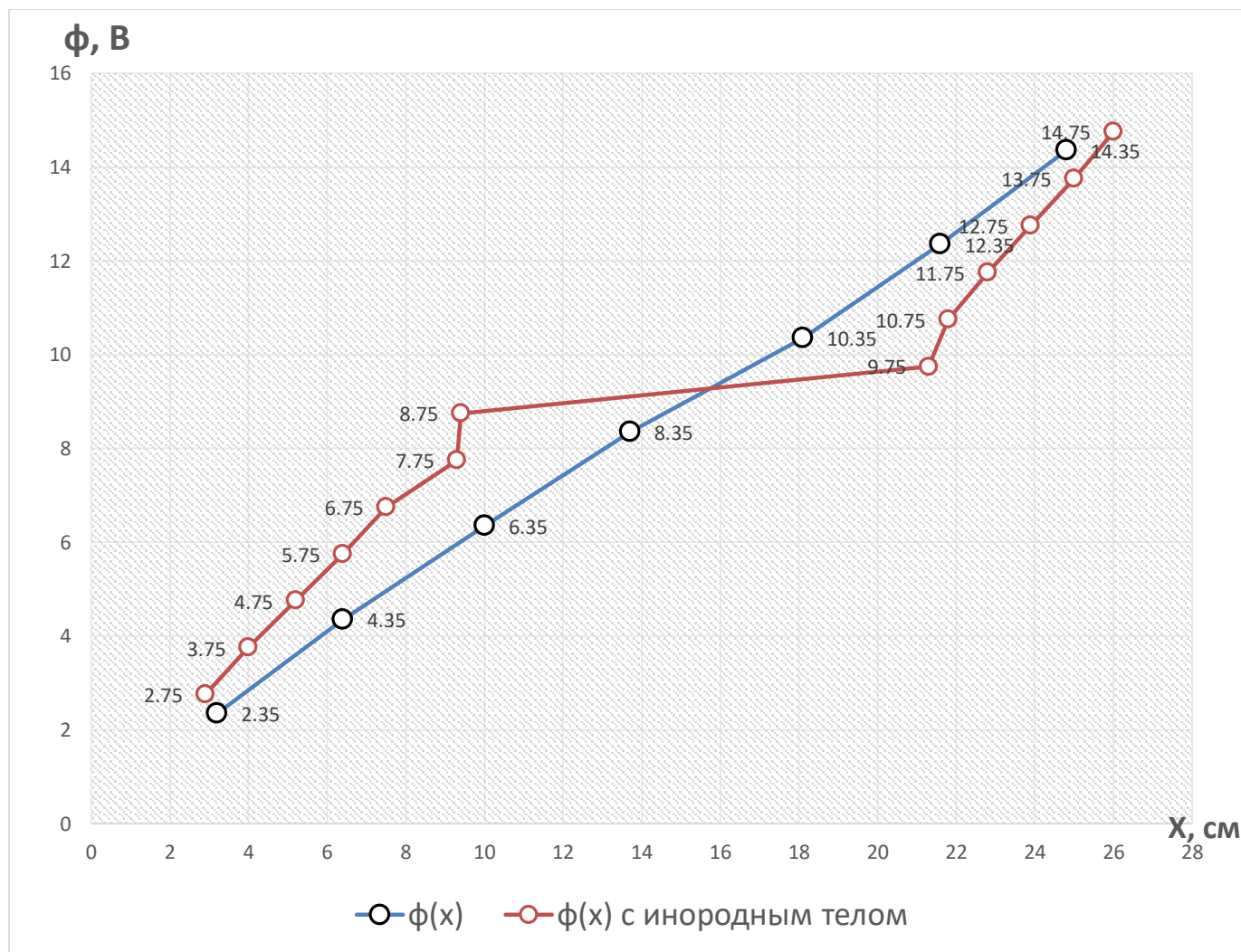
$$2: \Delta_{\langle E \rangle_{\text{ц}}} = \frac{2 * 2}{3 * 0.041} \sqrt{(0,005)^2 + \left(\frac{(10,35 - 8,35) \cdot 0,0005}{0.041} \right)^2} = 0.81 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$3: \varepsilon_{\langle E \rangle_{\text{ц}}} = \frac{0.81}{48,78} \cdot 100\% = 1,66\%$$

$$2: \Delta_{\langle E \rangle_{\text{э}}} = \frac{2 * 2}{3 * 0.038} \sqrt{(0,005)^2 + \left(\frac{(4,35 - 2,35) \cdot 0,0005}{0.038} \right)^2} = 0.94 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$3: \varepsilon_{\langle E \rangle_{\text{э}}} = \frac{0.94}{52,63} \cdot 100\% = 1,78\%$$

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



12) Окончательные результаты.

$\langle E_{\text{ц}} \rangle = 48,78 \pm 0,81 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ – напряженность в окрестности центра электролитической ванны без проводящего кольца

$\langle E_3 \rangle = 52,63 \pm 0,94 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ – напряженность в окрестности одного из электродов без проводящего кольца

$\sigma'_1 = -4,66 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$ – поверхностная плотность заряда на левом электроде

$\sigma'_2 = -4,32 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$ – поверхностная плотность заряда на правом электроде

$E_{\text{max}} = 45,45 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ – максимальная напряженность при нахождении проводящего кольца в ванне

$E_{\text{min}} = 0 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ – минимальная напряженность при нахождении проводящего кольца в ванне

13) Выводы и анализ результатов работы.

В ходе выполнения работы мы научились строить силовые линии по эквипотенциальным полям в модели плоского конденсатора и при наличии проводящего тела. Построили график зависимости потенциала от координаты для двух исследованных конфигураций поля. Заметили, что без проводящего тела график имеет

линейный вид, при наличии проводящего тела – кусочно-заданной функции, похожей на кубическую, если рассматривать начало координат в центре кольца. Также узнали, что максимальное значение напряженности поля при наличии проводящего кольца находится вблизи кольца на той же горизонтали, что и его центр, а минимальное – при $r < R$.

14) Дополнительные задания

15) Выполнение дополнительных заданий