

Группа М3217

К работе допущен _____

Студент Бессонов Борис

Работа выполнена 29.11.23

Преподаватель Тимофеева Эльвира Олеговна Отчет принят _____

**Рабочий протокол и отчет по
лабораторной работе №3.01(А)**

Изучение электростатического поля методом моделирования

1. Цель работы.

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

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

3. Объект исследования.

Модель электростатического поля

4. Метод экспериментального исследования.

Экспериментальный метод моделирования электростатического поля, заменяя электростатическое поле на электрическое, в котором на электроды подают такие же потенциалы, как и в моделируемом. В силу того, что плотность зарядов на электродах постоянна, мы моделируем электростатическое поле, и поверхности электродов являются эквипотенциальными поверхностями.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Напряженность электрического поля:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q},$$

2. Потенциал электрического поля:

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{\Pi}(\vec{r})}{q},$$

3. Работа электрического поля по перемещению заряда:

$$A_{12} = q (\varphi_1 - \varphi_2) .$$

4. Связь напряженности с потенциалом:

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \equiv -\vec{\nabla} \varphi,$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = - \int_1^2 \vec{E} d\vec{\ell}.$$

5. Вектор градиента потенциала:

$$\vec{\nabla} \varphi = \hat{e}_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \hat{e}_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \hat{e}_z \frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$

6. Средняя напряженность между двумя потенциалами:

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

7. Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

8. Уравнение неразрывности:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} \equiv \text{div } \vec{j} = \frac{\partial j_x}{\partial x} + \frac{\partial j_y}{\partial y} + \frac{\partial j_z}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t},$$

9. Для стационарного тока:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0.$$

10. Следует из 9 – 10

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0.$$

11. Связь величины напряженности вблизи поверхности электрода с поверхностной плотностью зарядов:

$$\sigma' = \varepsilon_0 E_n,$$

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

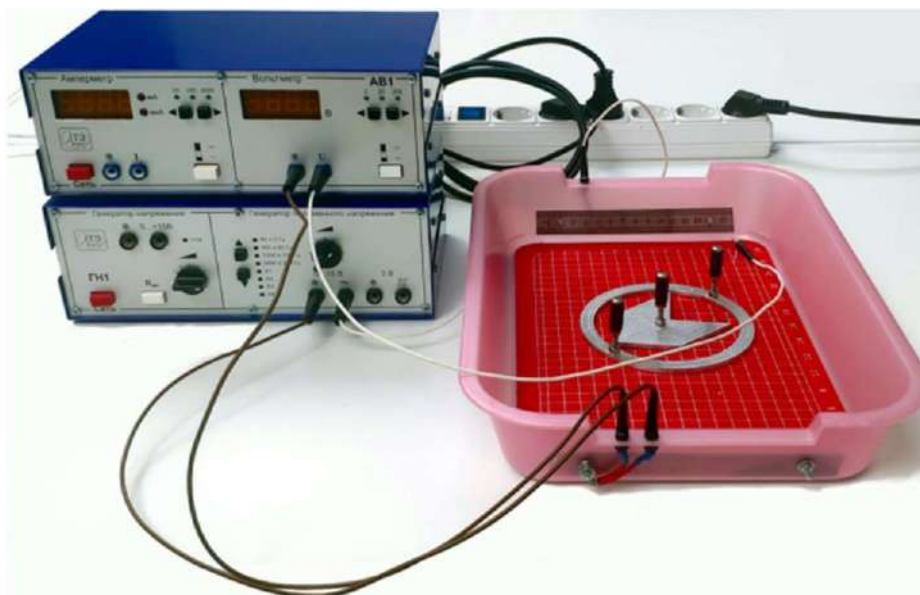
12. В условиях плоского конденсатора потенциал зависит следующим образом:

$$\varphi(x) = \varphi_0 + Ex,$$

6. Измерительные приборы.

| № п/п | Наименование | Тип прибора | Предел измерений | Погрешность прибора |
|-------|----------------------|--------------|------------------|---------------------|
| 1 | Генератор напряжения | Электронный | 450 Гц | 50 Гц |
| 2 | Вольтметр | Электронный | 20 В | 0.02 В |
| 3 | Линейка | Стационарный | 0.3 м | 0.005 м |

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



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. В ванну может быть помещено проводящее тело в форме кольца.

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

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

$$E_{\text{центра}} = 7.6 - 5.6 / 0.045 = 44.44 \text{ В}$$

$$E_{\text{окрестности}} = 3.6 - 1.6 / 0.065 = 30.77 \text{ В}$$

$$\sigma' \cong -\epsilon_0 * \Delta\varphi / \Delta \ln = 8,85 * 10^{-12} * 2 / 0,045 = 389,4 * 10^{-12} \text{ Кл/м}^2$$

Густота силовых линий пропорциональна величине вектора напряженности, поэтому:

$$E_{\text{max}} = 0,8 / 0,045 = 17,78 \text{ В}$$

$$E_{\text{min}} = 0,8 / 1,2 = 0,67 \text{ В}$$

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

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta_b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta_c\right)^2 + \dots},$$

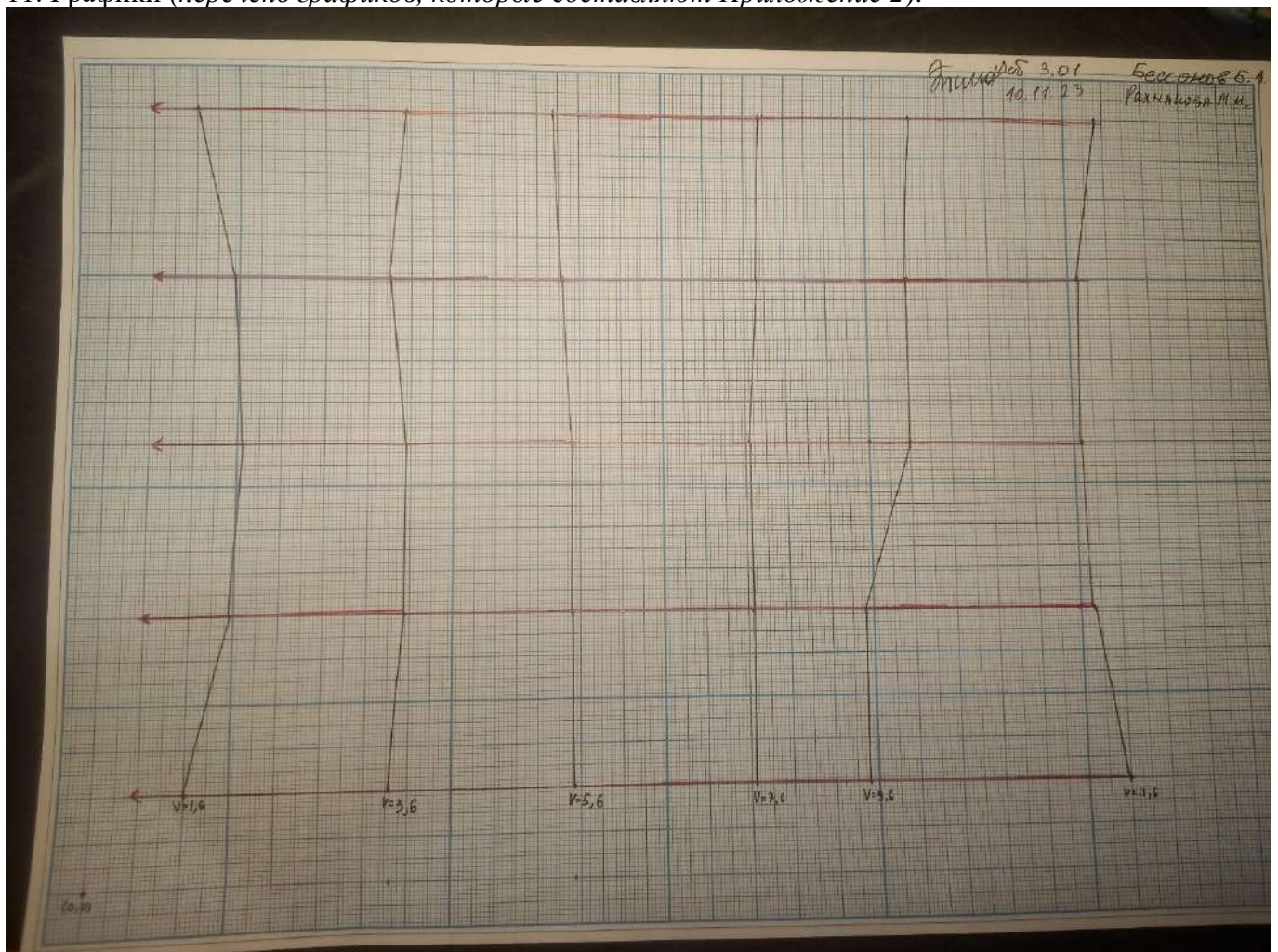
$$\langle E_{12} \rangle \cong \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}},$$

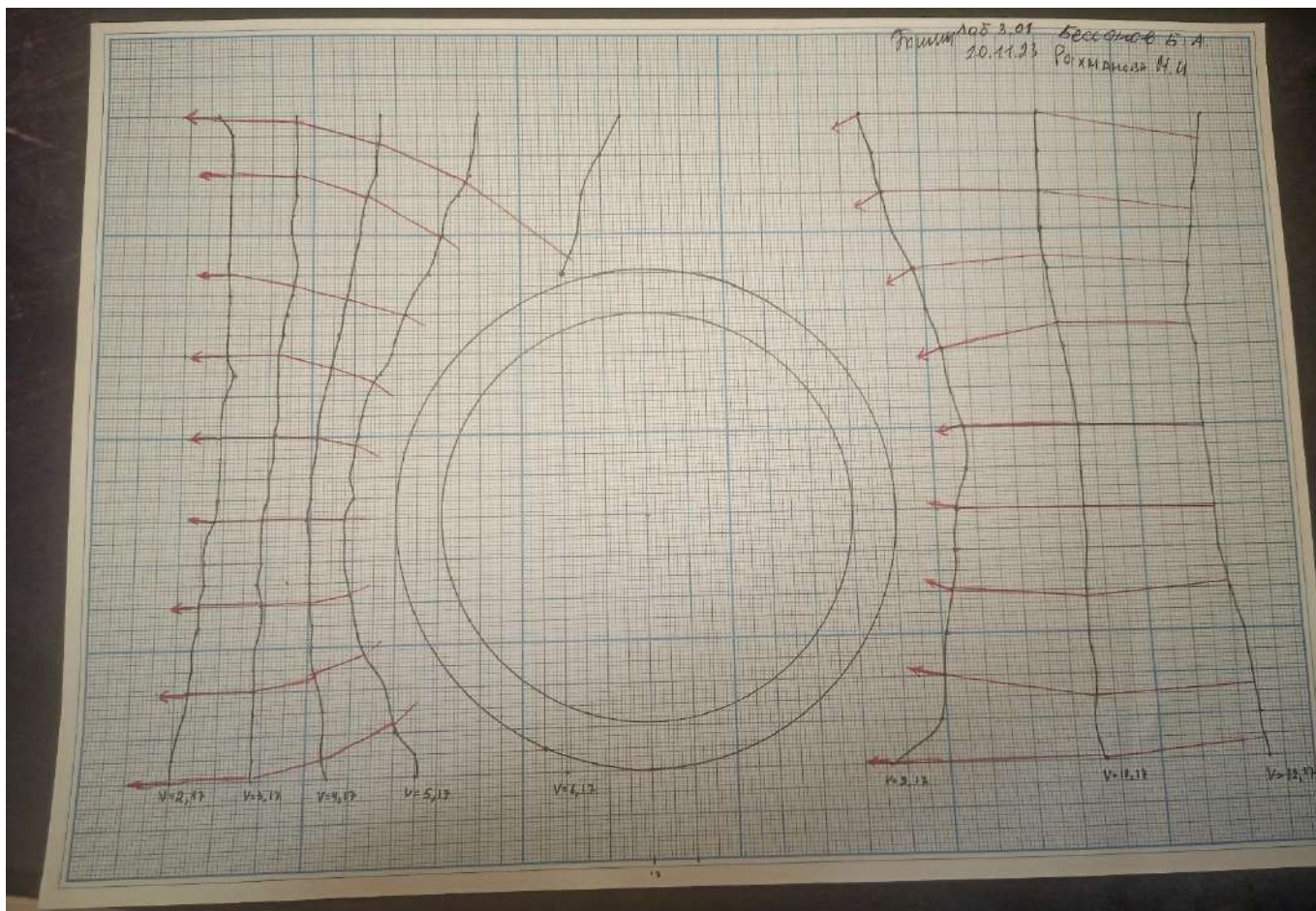
(1)

Берем производную считая $\Delta\varphi$ и Δl независимыми переменными и подставляем в формулу выше =>

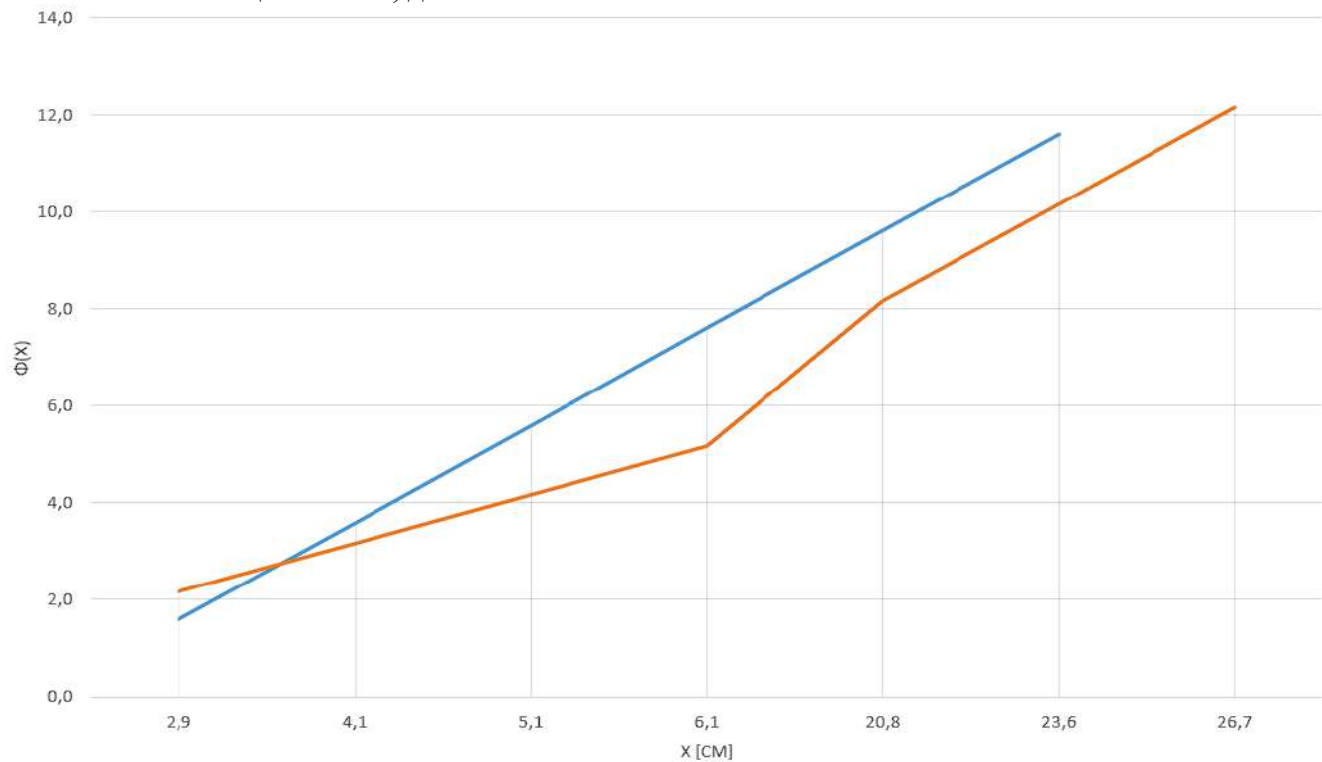
1. $\Delta E_{\text{ц}} = 0.661 \text{ В/м};$
2. $\Delta E_{\text{пз}} = 5.988 \text{ В/м};$
3. $\Delta E_{\text{max}} = 6.110 \text{ В/м};$
4. $\Delta E_{\text{min}} = 1.052 \text{ В/м};$
5. Расписывая напряженность по формуле выше, мы приводим формулу плотности электрического заряда к формуле от прямых измерений, а поэтому можем пользоваться основной формулой для вычисления погрешности косвенных измерений =>
 $\Delta \sigma' = 0.530 * 10^{-10}$

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





Зависимость потенциала от X , для $Y = 10$ см



12. Окончательные результаты.

Величина напряженности в центре ванны: $E_{\text{ц}} = 44,44$ В

Величина напряженности возле одного из электродов: $E_{\text{пз}} = 30,77$ В

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах: $\sigma' = 389,4 \cdot 10^{-12}$

Кл/м²

Величина напряженности возле одного из электродов: $E_{\max} = 17,78 \text{ В}$

Величина напряженности возле одного из электродов: $E_{\min} = 0,67 \text{ В}$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Используя экспериментальный метод моделирования, мы с моделировали электростатическое поле.

Затем мы изучили распределение потенциала в слабо проводящей среде и построили систему силовых линий с указанием их направления. Для модели плоского конденсатора посчитали величину напряженности в центре ванны, а также в окрестности одного из электродов.

Затем, в конфигурации поля с проводящим кольцом мы нашли области с минимальным напряженностью – примерно центр ванны, между электродами; а также с максимальной напряженностью – рядом с кольцом. Также легко заметить, что в модели с проводящим кольцом значительная часть силовых линий начинается и заканчивается на проводящем теле.

После этого мы построили график зависимости потенциала от расстояния и увидели, что кольцо создает область с постоянным потенциалом. На графике присутствуют погрешности, однако в силу их незначительности, мы можем пренебречь ими. На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что мы выполнили поставленные задачи.

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

16. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).

- Примечание:**
1. Пункты 1-6,8-13 Протокола-отчета **обязательны** для заполнения.
 2. Необходимые исправления выполняют непосредственно в протоколе-отчете.
 3. При ручном построении графиков рекомендуется использовать миллиметровую бумагу.
 4. Приложения 1 и 2 вкладывают в бланк протокола-отчета.