

Группа Р3110

К работе допущен 18.02.2021

Студент Романов Артём Максимович

Работа выполнена 05.03.2021

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 слабо проводящей среде.

2. Измерительные приборы

№	Наименование	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	$\Delta_{\text{и}}$
1	Вольтметр цифровой в составе комбинированного прибора АВ1	20 В	0.01 В/дел	-	0,01 В

3. Объект исследования

- Распределение потенциала в модели плоского конденсатора
- Распределение потенциала при наличии проводящего тела

4. Метод экспериментального исследования.

1. Однократные и многократные прямые измерения
2. Косвенные измерения

5. Рабочие формулы и исходные данные

$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q}$ – силовая характеристика электрического поля

$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{\text{п}}(\vec{r})}{q}$ – потенциал $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ – работа

$\vec{E} = -\text{grad } \varphi \equiv -\vec{\nabla}\varphi$
 $\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_1^2 \vec{E}d\vec{\ell}$ – соотношения напряженности и потенциала электростатического поля

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

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

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} - \text{закон Ома в дифференциальной форме}$$

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

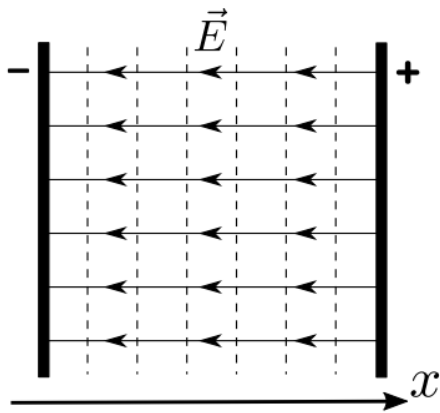
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0$$

$$\sigma(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$$

$$\sigma' = \varepsilon_0 E_n$$

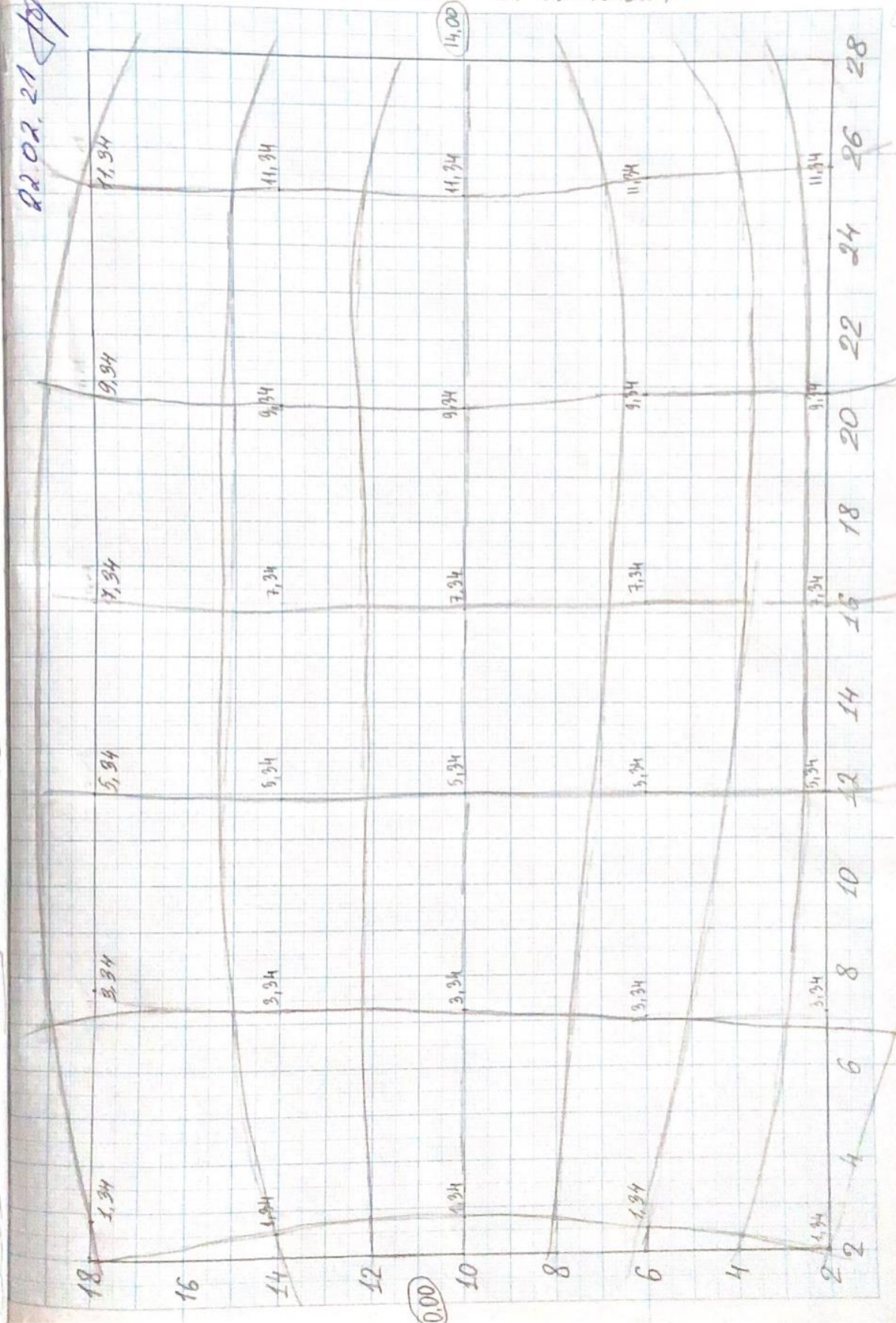
$$\sigma' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta\ell_n}$$



Схематичное изображение электрического поля в плоском конденсаторе

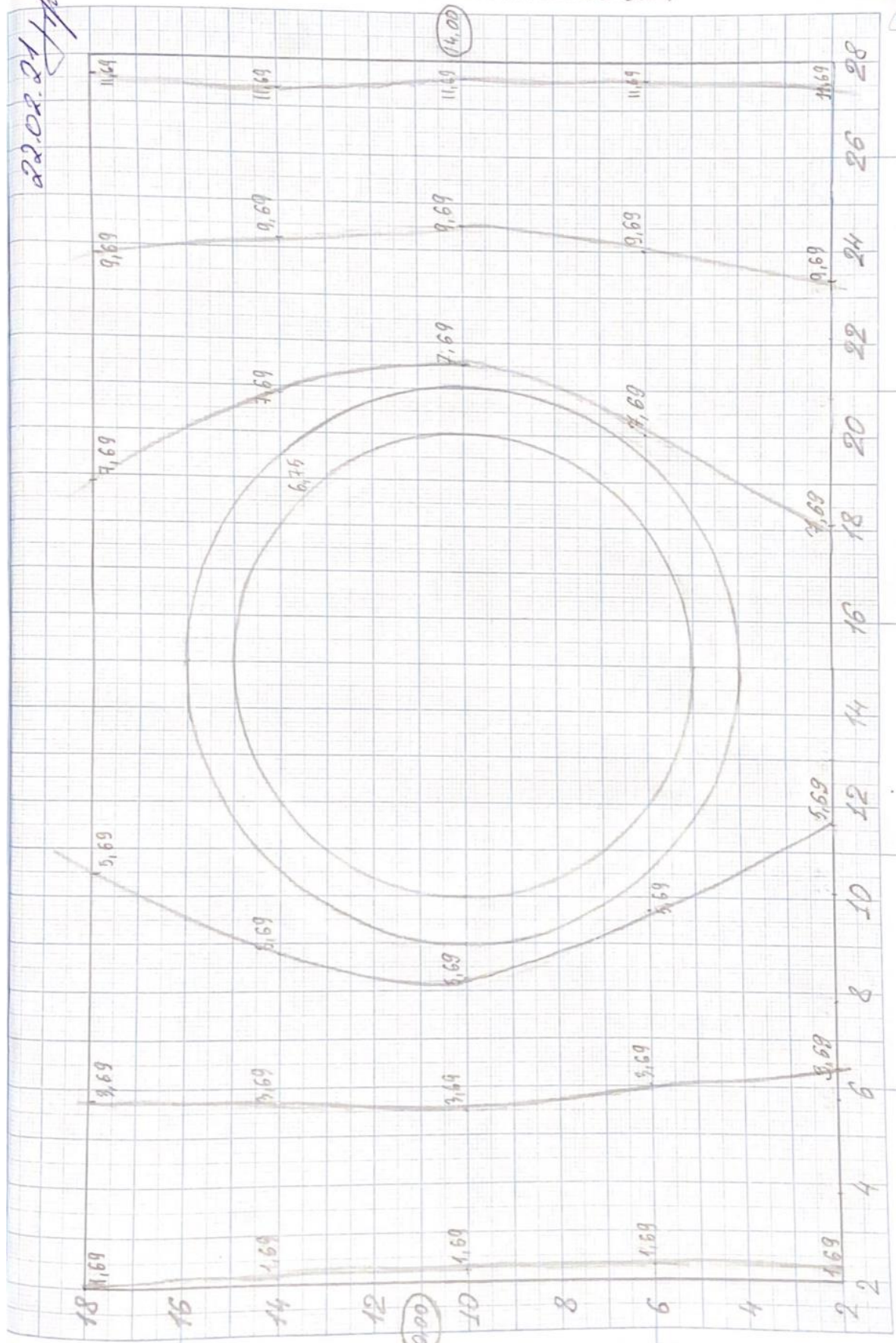
22.02.21

Р3110 РОМАНОВ АРТЕМ МАКСИМОВИЧ



22.02.21

Р3110 РОМАНОВ АРТЁМ МАКСИМОВИЧ



6. Расчёт результатов косвенных измерений

Задание 1

- 1) Расчёт величины напряженности в центре электролитической ванны и в окрестности одного из электродов.

$$\langle E_{\text{ц}} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}} = \frac{9,34 - 5,34}{0,085 \text{ м}} = 47 \pm 7,9 \text{ В/м}$$

$$\langle E_{\text{ок}} \rangle \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}} = \frac{3,34 - 1,34}{0,045 \text{ м}} = 44,44 \pm 1,4 \text{ В/м}$$

2) Оценка поверхностной плотности электрического заряда на электродах по формуле

$$\sigma_1' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{\Delta \ell_n} = -8,85 * 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} * \frac{1,34}{0,028 \text{ м}} \approx -4,23 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\sigma_2' \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta \varphi}{\Delta \ell_n} = -8,85 * 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} * \frac{2,66}{0,056 \text{ м}} \approx -4,20 * 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

3) Для конфигурации поля при наличии проводящего кольца найдём на построении

области с минимальной E_{\min} и максимальной E_{\max} напряжённостью

$\langle E_{\min} \rangle = 0 \text{ В/м}$ – внутри кольца, так как напряжение в нём постоянно, значит разница потенциалов равна 0 и $E_{\min} = 0$

Точки E_{\max} расположены справа и слева от кольца, т.к. там плотность эквипотенциальных линий наибольшая:

$$\text{слева } E_{\max} = \frac{6,69 - 5,69}{0,011} = 90 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\text{справа } E_{\max} = \frac{7,69 - 6,69}{0,008} = 125 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

7. Расчёт погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений)

$\varphi_1 - \varphi_2$:

$$1. \Delta_{\varphi_1 - \varphi_2} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,014 \text{ В}$$

$$\varepsilon_{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{0,014}{2} * 100\% = 0,7\%$$

$$2. \Delta_{\varphi_1 - \varphi_2} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,014 \text{ В}$$

$$\varepsilon_{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{0,014}{2,1} * 100\% = 0,7\%$$

ℓ_{12} :

$$1. \Delta \ell_{12} = \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 0,0014 \text{ м}$$

$$\varepsilon_{\ell_{12}} = \frac{0,0014}{0,085} * 100\% = 1,6\%$$

$$2. \Delta \ell_{12} = \sqrt{0,001^2 + 0,001^2} = 0,0014 \text{ м}$$

$$\varepsilon_{\ell_{12}} = \frac{0,0014}{0,045} * 100\% = 3,1\%$$

E :

$$1. \varepsilon_E = \sqrt{\varepsilon_{\varphi_1 - \varphi_2}^2 + \varepsilon_{\ell_{12}}^2} = \sqrt{0,7^2 + 1,6^2} = 1,7\%$$

$$\Delta_E = \frac{\varepsilon_E * E}{100} = \frac{1,7 * 47,05}{100} = 7,9 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$2. \varepsilon_E = \sqrt{\varepsilon_{\varphi_1 - \varphi_2}^2 + \varepsilon_{\ell_{12}}^2} = \sqrt{0,7^2 + 3,1^2} = 3,2\%$$

$$\Delta_E = \frac{\varepsilon_E * E}{100} = \frac{3,2 * 44,44}{100} = 1,4 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

8. Графики

График 1 (приложение 2) – зависимость $\varphi = \varphi(X)$

9. Окончательные результаты

$$E_{\text{центра}} = (47 \pm 7,9) \frac{\text{В}}{\text{м}}, \varepsilon = 1,7 \%, \quad \alpha = 0,95$$

$$E_{\text{электрода}} = (44,44 \pm 1,4) \frac{\text{В}}{\text{м}}, \varepsilon = 3,2 \%, \quad \alpha = 0,95$$

10. Выводы и анализ результатов работы

Задание 1: Построена схема эквипотенциальных и силовых линий, подсчитана напряжённость в центре ванны и на электроде. Подсчитана поверхностная плотность заряда вблизи левого электрода. Соотнеся значения напряжённости, можно сделать вывод, что ближе к электродам они меньше т.к. электроды оказывают влияние на форму эквипотенциальных линий как проводящие тела, из-за чего линии не параллельны на всей плоскости ванны.

Задание 2: Построена схема эквипотенциальных и силовых линий, определены места наибольшей и наименьшей напряжённости и оценены их значения. Построен график зависимости потенциала от координаты для обоих заданий. По графику можно сделать вывод, что потенциал растёт линейно в зависимости от расстояния при отсутствии проводящего тела. Проводящее тело же останавливает рост потенциала, поэтому потенциал растёт быстрее на частях оси, на которых нет тела.

