

Группа U3178

Студент Гатауллина Алина Маратовна

Преподаватель Фокс М.Э.

## 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. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Изменить статическое электрическое поле на электрическое поле в слабо проводящей среде.
2. Установить эквивалентность уравнений и процессов, происходящих в электрическом и электростатическом полях.
3. Обосновать необходимость использования переменного тока низкой частоты вместо постоянного тока.
4. Доказать, что переменный синусоидальный ток в электролите не является потенциальным.

#### 3. Объект исследования.

Электростатическое поле.

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Метод моделирования.

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$\varphi(\vec{r}) = \frac{W_{\Pi}(\vec{r})}{q}, \quad \sigma' = \varepsilon_0 E_n, \quad \varphi(x) = \varphi_0 + Ex, \quad (E_{12}) \approx \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ell_{12}}, \quad \vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{q},$$
$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta_b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta_c\right)^2}$$

## 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Вольтметр	Электронный измерительный	[0; 20] В	$\pm 0,005$ В
2	Разлинованное дно ванны	Измерительный	[0; 280] мм	$\pm 0,5$ мм

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

Потенциал эквипотенциальной линии, В	Координаты X точек эквипотенциальной линии, мм				
	При $Y = 20$ мм	При $Y = 60$ мм	При $Y = 100$ мм	При $Y = 140$ мм	При $Y = 180$ мм
$\varphi = 1,42$	20,0	24,0	25,0	21,0	5,0
$\varphi = 3,09$	60,0	62,0	62,0	61,0	58,0
$\varphi = 4,80$	100,0	101,0	101,0	101,0	100,0
$\varphi = 6,67$	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
$\varphi = 8,45$	180,0	178,0	178,0	179,0	181,0
$\varphi = 10,15$	220,0	219,0	218,0	218,0	219,0
$\varphi = 11,64$	260,0	256,0	254,0	255,0	258,0

Таблица 1. Координаты точек эквипотенциальных линий и их потенциалы для конфигурации поля без проводящего кольца.

Потенциал эквипотенциальной линии, В	Координаты X точек эквипотенциальной линии, мм				
	При $Y = 20$ мм	При $Y = 60$ мм	При $Y = 100$ мм	При $Y = 140$ мм	При $Y = 180$ мм
$\varphi = 1,93$	20,0	23,0	23,0	21,0	8,0
$\varphi = 3,86$	60,0	64,0	51,0	53,0	57,0
$\varphi = 5,61$	100,0	82,0	75,0	83,0	102,0
$\varphi = 6,60$	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
$\varphi = 7,72$	180,0	198,0	209,0	201,0	185,0
$\varphi = 9,15$	220,0	226,0	229,0	225,0	219,0
$\varphi = 10,96$	260,0	258,0	259,0	259,0	259,0

Таблица 2. Координаты точек эквипотенциальных линий и их потенциалы для конфигурации поля с проводящим кольцом.

Длины участков силовых линий между точками в центре и в окрестностях электродов ванны:

$$l_{ц} = 19 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$l_{л} = 18 \pm 0,5 \text{ мм}$$

$$l_{п} = 18 \pm 0,5 \text{ мм}$$

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

Напряженность в центре электролитической ванны:

$$E_{\text{ц}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{\text{ц}}} = \frac{6,67 - 4,80}{18} = 0,10 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

Напряженность в окрестностях электродов:

$$E_{\text{п}} = \frac{\varphi_3 - \varphi_4}{l} = \frac{3,09 - 1,42}{18} \text{ В}$$

$$= \frac{0,09}{19} \text{ ( ) } \frac{\text{В}}{\text{мм}}$$

$$E_n = \frac{\varphi_5 - \varphi_6}{l_n} = \frac{611,64 - 10,15}{19} = 0,08 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

Поверхностная плотность электрического заряда на электродах:

$$\sigma = \varepsilon_0 * E_n = 8,85 \times 10^{-12} \times 0,09 = 0,8 \times 10^{-12} \left( \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right)$$

$$\sigma = \varepsilon_0 * E_n = 8,85 \times 10^{-12} \times 0,08 = 0,7 \times 10^{-12} \left( \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right)$$

Минимальная и максимальная напряжённость для ванны с проводящим кольцом:  
 $E_{min} = 0 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$  – внутри кольца, так как потенциал на краях кольца и внутри него постоянен, следовательно разность потенциалов равна нулю.

$E_{max} = \frac{6,62-5,61}{2} = 0,51 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$  – с левой стороны от кольца, там, где ближе всего проведена силовая линия. Напряжённость в данной области больше чем в пять раз больше, чем напряженности в окрестностях электродов и в центре поля с конфигурацией без кольца.

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

Найдём погрешности напряжённостей для пустой ванны через частные производные:

$$\Delta(\varphi_1 - \varphi_2) = \Delta\varphi_{и} = 0,005 \text{ В}$$

$$\Delta l = \Delta l_{и} = 0,5 \text{ мм}$$

$$\Delta E_{ц} = \sqrt{\left( \frac{1}{l_{ц}} * \Delta(\varphi_1 - \varphi_2) \right)^2 + \left( -\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{ц}^2} * \Delta l \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{19} * 0,005 \right)^2 + \left( -\frac{6,67-4,8}{361} * 0,5 \right)^2} = \pm 0,003 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$\Delta E_{л} = \sqrt{\left( \frac{1}{l_{л}} * \Delta(\varphi_3 - \varphi_4) \right)^2 + \left( -\frac{\varphi_3 - \varphi_4}{l_{л}^2} * \Delta l \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{18} * 0,005 \right)^2 + \left( -\frac{3,09-1,42}{324} * 0,5 \right)^2} = \pm 0,003 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$\Delta E_{п} = \sqrt{\left( \frac{1}{l_{п}} * \Delta(\varphi_5 - \varphi_6) \right)^2 + \left( -\frac{\varphi_5 - \varphi_6}{l_{п}^2} * \Delta l \right)^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{18} * 0,005 \right)^2 + \left( -\frac{11,64-10,15}{324} * 0,5 \right)^2} =$$

$$\pm 0,002 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

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

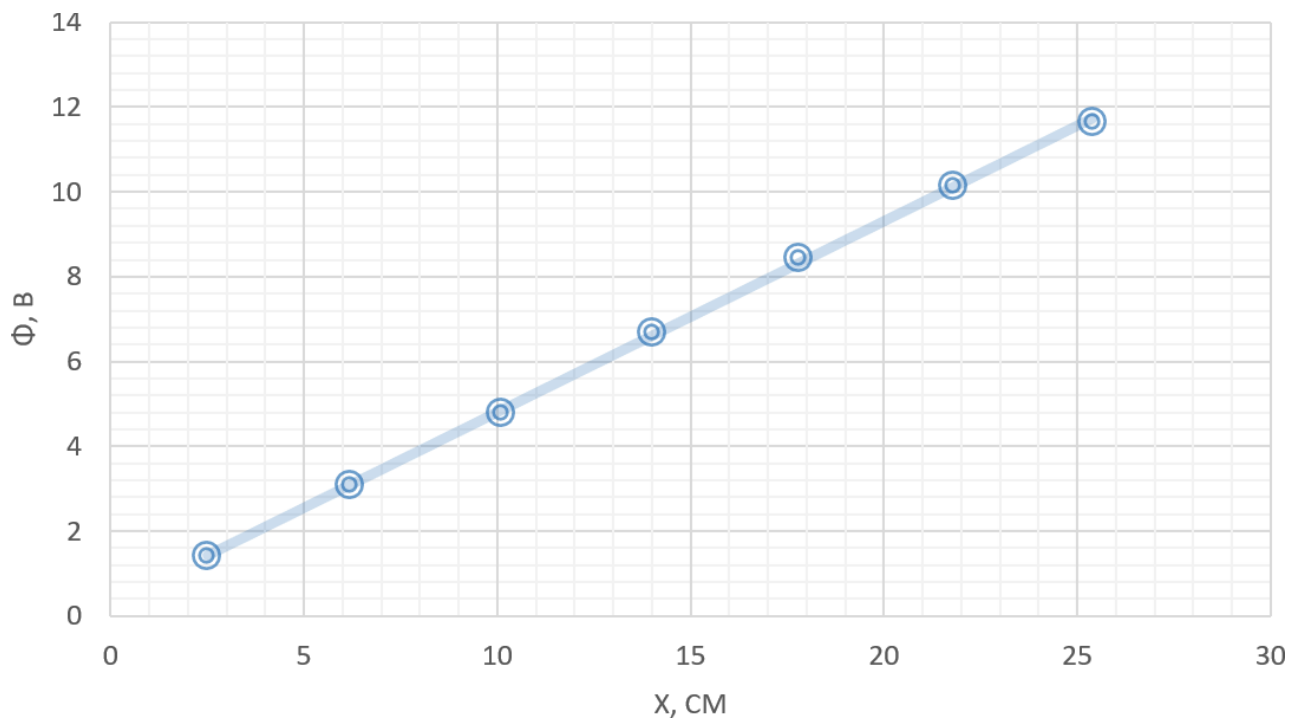


График 1. Зависимость потенциала  $\varphi$  от координаты ( $x$ ) для пустой ванны.

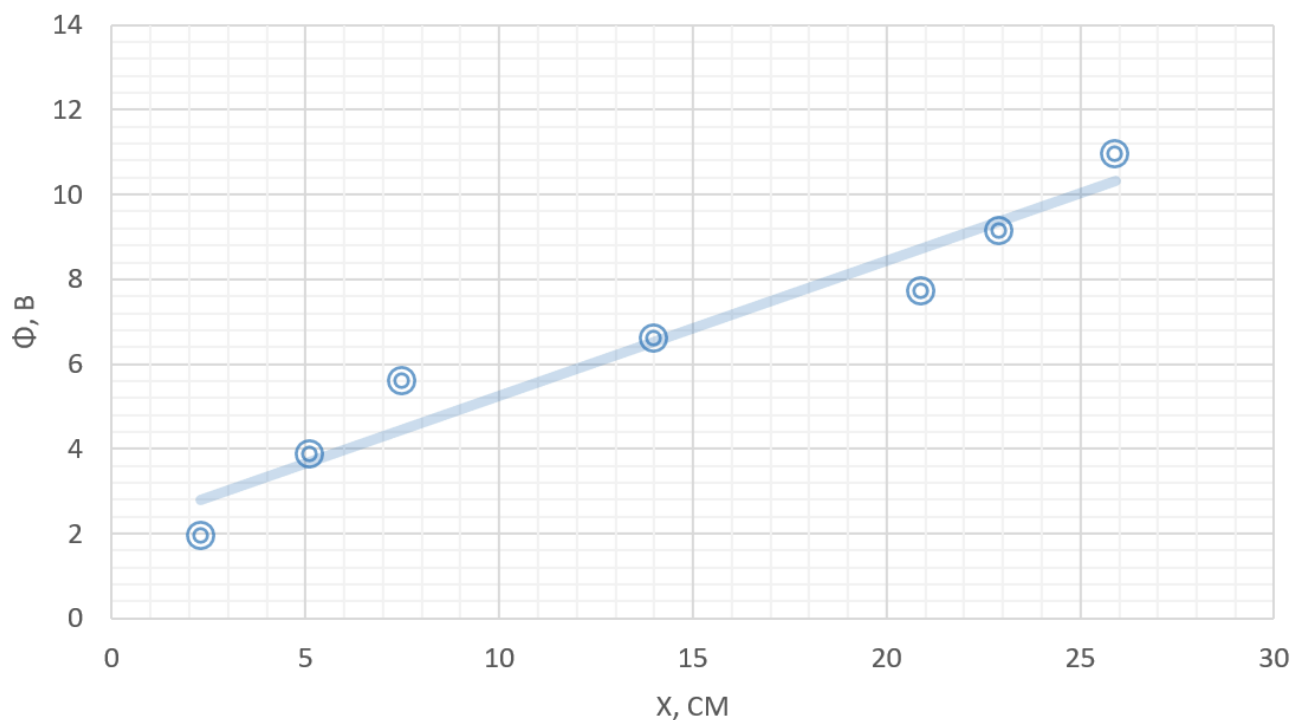


График 2. Зависимость потенциала  $\varphi$  от координаты ( $x$ ) при наличии проводящего кольца.

Сравнивая графики зависимостей, можно заметить, что линия тренда при пустой ванне практически совпадает с координатами полученных точек, в то время как при

наличии проводящего кольца точки сильнее «расходятся» друг от друга. Также мы видим, что угол наклона линии тренда при наличии проводящего тела меньше к оси ОХ.

## 12. Окончательные результаты.

$$E_{ц} = 0,10 \pm 0,003 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$E_{п} = 0,08 \pm 0,002 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$E_{п} = 0,08 \pm 0,002 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$\sigma = 0,8 \times 10^{-12} \left( \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right)$$

$$\sigma = 0,7 \times 10^{-12} \left( \frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^2} \right)$$

$\sigma$

п

$$E_{min} = 0 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

$$E_{max} = 0,51 \left( \frac{\text{В}}{\text{мм}} \right)$$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы мы изучили распространения потенциала в присутствии и отсутствии проводящего тела. Были построены графики эквипотенциальных и силовых линий, а также определены минимальное и максимальное значения напряженности.

Максимальное значение напряжения было найдено в участке, где силовые линии были наиболее плотными, то есть, вблизи проводящего тела.

Функция потенциала  $\phi$  и ее зависимость от координаты  $x$  были представлены на графике. Мы сделали вывод, что в первом случае зависимость была линейной, а при наличии проводящего тела она также была близка к линейной, но внутри кольца зависимость стала нелинейной из-за искривления силовых линий.

## 14. Приложение

В приложениях 1 и 2 представлены графики эквипотенциальных и силовых линий поля при отсутствии и присутствии проводящего тела соответственно.