
Группа Р3208

К работе допущен _____

Студент Ступин Т.Р. Петров В.М. Есоян В.С.

Работа выполнена _____

Преподаватель Сорокина Е.К.

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. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Изобразить данные измерений на масштабную-координатную бумагу
2. Построить сечения эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля
3. Проанализировать данные
4. Провести косвенные вычисления
5. Построить графики зависимостей $\varphi = \varphi(x)$

3. Объект исследования

Потенциал в слабо проводящей среде

4. Метод экспериментального исследования.

Размещение в слабо проводящей среде электродов для построения сечений эквипотенциальных поверхностей и силовых линий.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

- Средняя напряженность

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

- Поверхностная плотность электрического заряда

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

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Вольтметр	электронный	0-20 В	0,01 В
2	Линейка ОХ	механический	2-28 см	0,001 м
3	Линейка ОУ	механический	2-18 см	0,0005 м

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

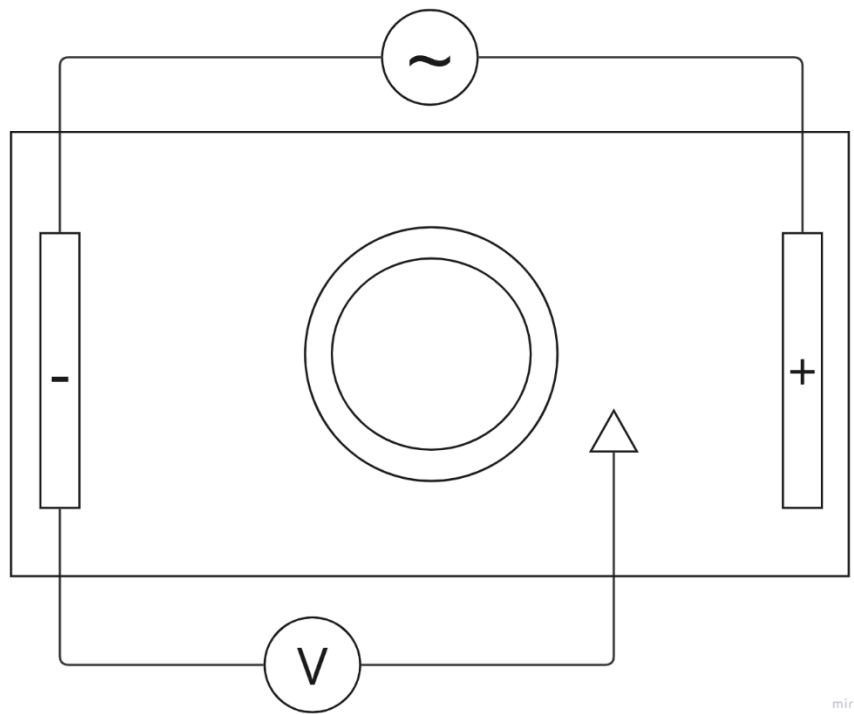


Рисунок 1, схема установки

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

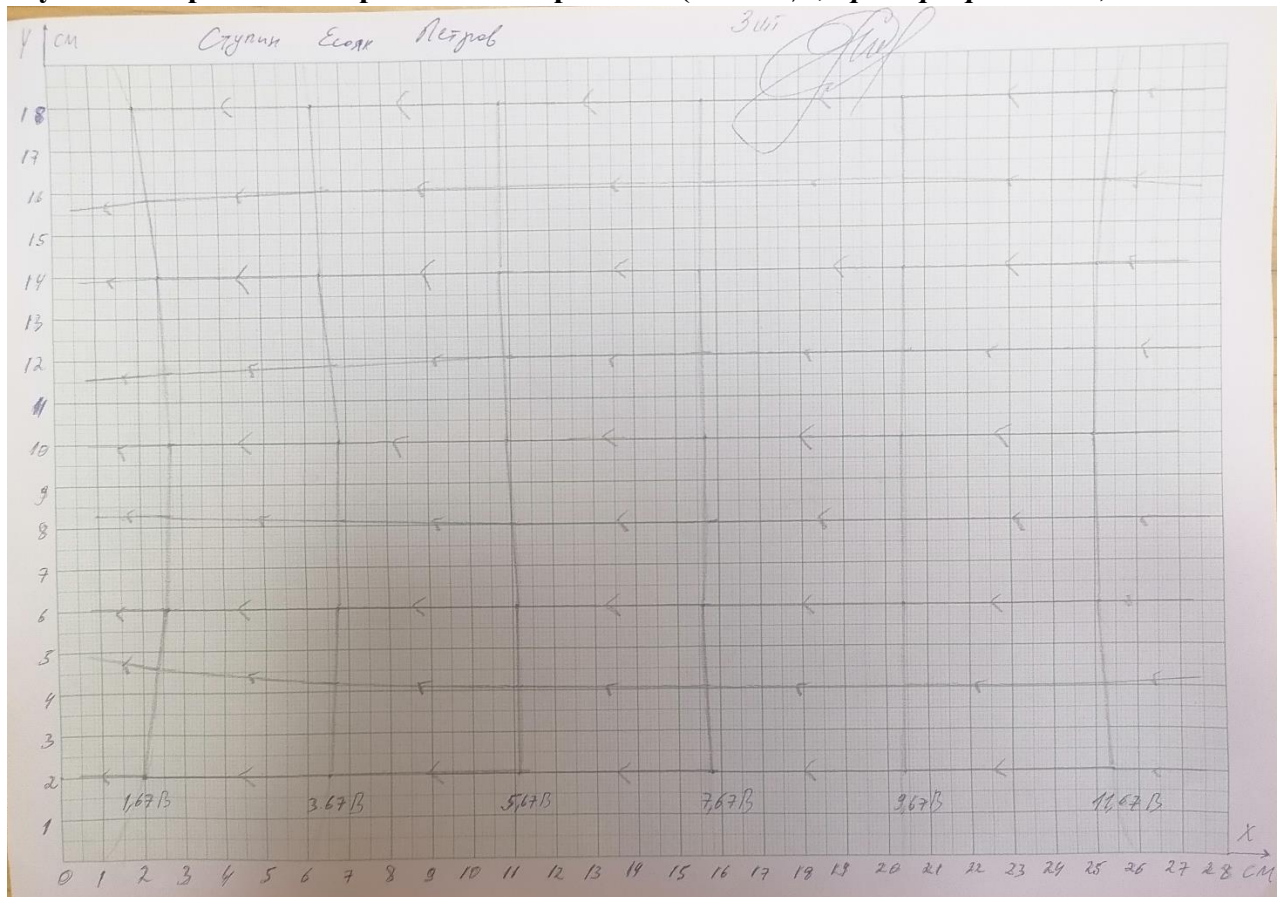


Рисунок 2, измерения без кольца

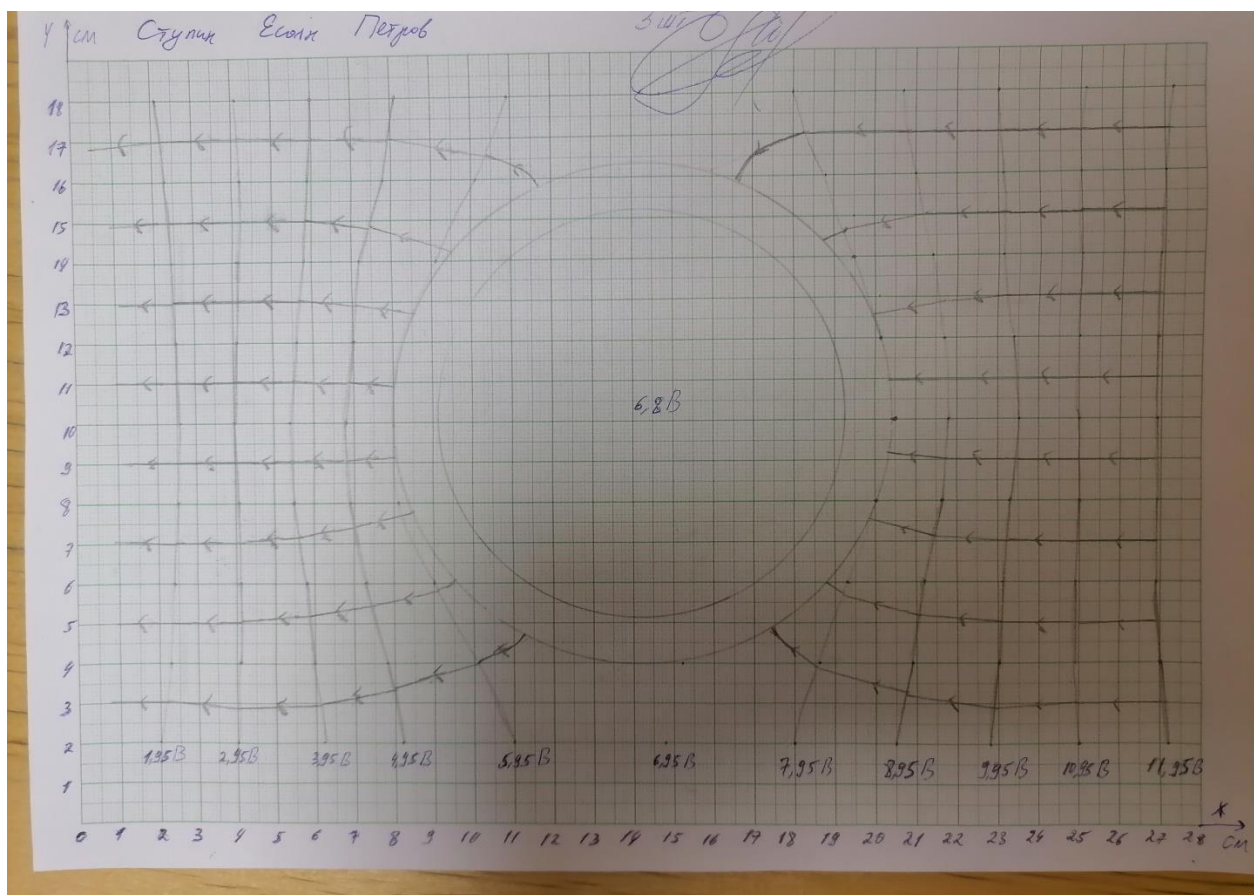


Рисунок 3, измерения с кольцом

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

Без кольца:

Рассчитаем величину напряженности в центре электролитической ванны:

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

Выберем эквипотенциальные линии максимально близкие к центру:

$$\varphi_1 = 7,67 \text{ В} \quad \varphi_2 = 5,67 \text{ В}$$

Точки также выберем ближайšie к центру:

$$x_1 = 0,157 \text{ м} \quad y_1 = 0,1 \text{ м}$$

$$x_2 = 0,109 \text{ м} \quad y_2 = 0,1 \text{ м}$$

Получаем:

$$E_{\text{ц}} \approx \frac{7,67 - 5,67}{0,048} = 41,67 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем величину напряженности в окрестности отрицательного электрода:

$$\varphi_1 = 3,67 \text{ В} \quad \varphi_2 = 1,67 \text{ В}$$

$$x_1 = 0,068 \text{ м} \quad y_1 = 0,1 \text{ м}$$

$$x_2 = 0,027 \text{ м} \quad y_2 = 0,1 \text{ м}$$

$$E_{\text{э-}} \approx \frac{3,67 - 1,67}{0,041} = 48,78 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем величину напряженности в окрестности положительного электрода:

$$\varphi_1 = 11,67 \text{ В} \quad \varphi_2 = 9,67 \text{ В}$$

$$x_1 = 0,25 \text{ м} \quad y_1 = 0,1 \text{ м}$$

$$x_2 = 0,204 \text{ м} \quad y_2 = 0,1 \text{ м}$$

$$E_{\text{э+}} \approx \frac{11,67 - 9,67}{0,046} = 43,48 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Рассчитаем поверхностную плотность электрического заряда на отрицательном электроде:

$$\sigma'_- \approx -\varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n} = -8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{3,67 - 1,67}{0,041} = -431,71 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Рассчитаем поверхностную плотность электрического заряда на положительном электроде:

$$\sigma'_+ \approx \varepsilon_0 \frac{\Delta\varphi}{\Delta l_n} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{11,67 - 9,67}{0,046} = 384,78 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

С кольцом:

Определим области максимальной и минимальной напряженности.

$$E_{min} = 0 \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad E_{max} = \frac{7,95 - 6,8}{0,01} = 115 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Минимум достигается внутри кольца, так как потенциал там не меняется, а следовательно, и напряженность нулевая.

Максимум достигается между точками (0,205; 0,1) и (0,195; 0,1).

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

Рассчитаем погрешность вычисления напряженности

$$\begin{aligned} \Delta_E &= \sqrt{\left(\frac{\partial\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial\varphi_1} \cdot \Delta_{\varphi_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial\varphi_2} \cdot \Delta_{\varphi_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial l} \cdot \Delta_l\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{l} \cdot \Delta_{\varphi_1}\right)^2 + \left(\frac{-1}{l} \cdot \Delta_{\varphi_2}\right)^2 + \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l^2} \cdot \Delta_l\right)^2} \\ \varepsilon_E &= \frac{\Delta_E}{E} \cdot 100\% \end{aligned}$$

Подставив значения получим

$$\Delta_{E_{ц}} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,048} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{-1}{0,048} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{5,67 - 7,67}{0,048^2} \cdot 0,001\right)^2} = 0,92 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{ц}} = \frac{0,92}{41,67} \cdot 100\% = 2,21\%$$

$$\Delta_{E_{3-}} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,041} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{-1}{0,041} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{1,67 - 3,67}{0,041^2} \cdot 0,001\right)^2} = 1,24 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{3-}} = \frac{1,24}{48,78} \cdot 100\% = 2,54\%$$

$$\Delta_{E_{3+}} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,046} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{-1}{0,046} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{9,67 - 11,67}{0,046^2} \cdot 0,001\right)^2} = 0,99 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{3+}} = \frac{0,99}{43,48} \cdot 100\% = 2,28\%$$

$$\Delta_{E_{max}} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,01} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{-1}{0,01} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{6,8 - 7,95}{0,01^2} \cdot 0,001\right)^2} = 11,6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$\varepsilon_{E_{max}} = \frac{11,59}{115} \cdot 100\% = 10\%$$

Рассчитаем погрешность вычисления поверхностной плотности зарядов

$$\Delta_{\sigma'} = \sqrt{\left(\frac{\partial\left(-\varepsilon_0 \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial \varphi_1} \cdot \Delta_{\varphi_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(-\varepsilon_0 \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial \varphi_2} \cdot \Delta_{\varphi_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial\left(-\varepsilon_0 \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l}\right)}{\partial l} \cdot \Delta_l\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{-\varepsilon_0}{l} \cdot \Delta_{\varphi_1}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{l} \cdot \Delta_{\varphi_2}\right)^2 + \left(\varepsilon_0 \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{l^2} \cdot \Delta_l\right)^2}$$

$$\varepsilon_{\sigma'} = \frac{\Delta_{\sigma'}}{\sigma'} \cdot 100\%$$

Подставив значения получим

$$\Delta_{\sigma'_-} = \sqrt{\left(\frac{-\varepsilon_0}{0,041} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{0,041} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\varepsilon_0 \frac{3,67 - 1,67}{0,041^2} \cdot 0,001\right)^2} = 10,97 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\varepsilon_{\sigma'_-} = \frac{10,97 \cdot 10^{-12}}{431,71 \cdot 10^{-12}} \cdot 100\% = 2,54\%$$

$$\Delta_{\sigma'_+} = \sqrt{\left(\frac{-\varepsilon_0}{0,046} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_0}{0,046} \cdot 0,01\right)^2 + \left(\varepsilon_0 \frac{11,67 - 9,67}{0,046^2} \cdot 0,001\right)^2} = 8,76 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

$$\varepsilon_{\sigma'_+} = \frac{8,76 \cdot 10^{-12}}{384,78 \cdot 10^{-12}} \cdot 100\% = 2,28\%$$

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

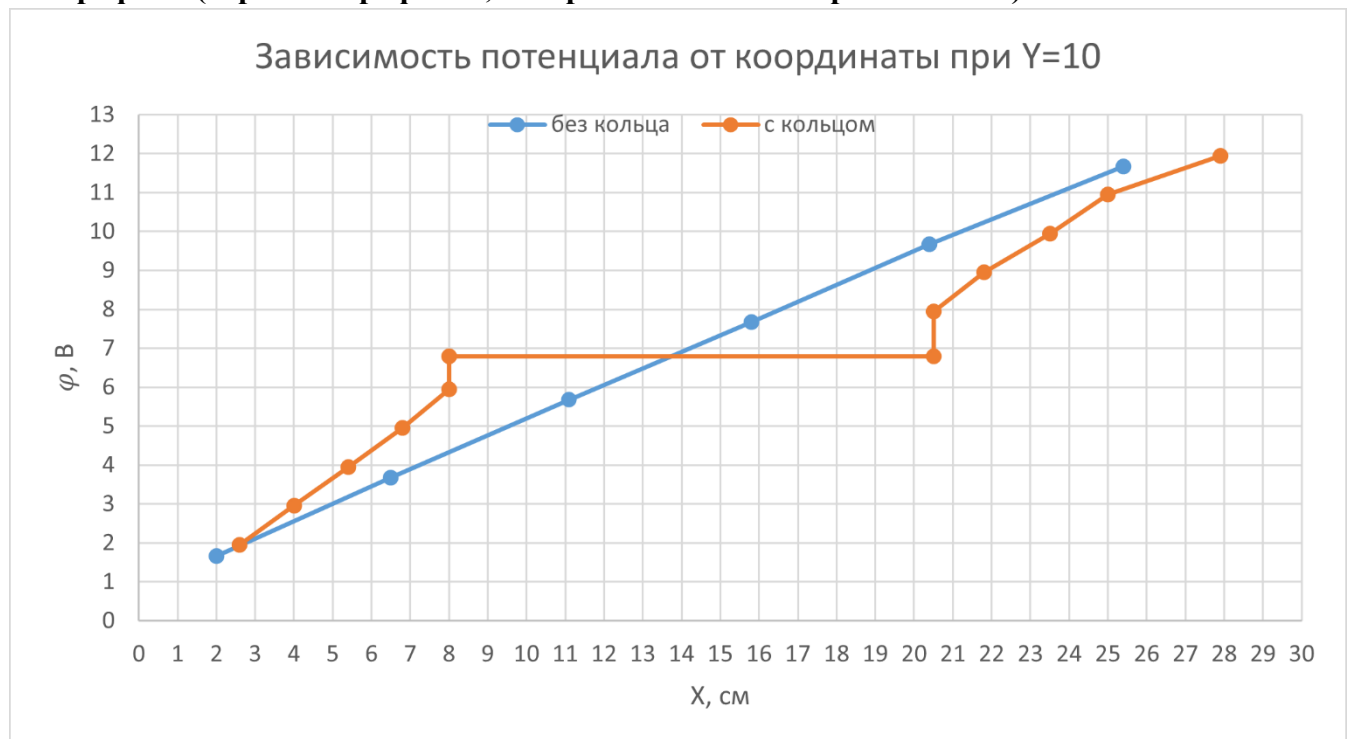


Рисунок 4, график зависимости потенциала от координаты

12. Окончательные результаты.

$$E_{\text{ц}} = (41,67 \pm 0,92) \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad \varepsilon_{E_{\text{ц}}} = 2,21\%$$

$$E_{\text{э-}} = (48,78 \pm 1,24) \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad \varepsilon_{E_{\text{э-}}} = 2,54\%$$

$$E_{\text{э+}} = (43,48 \pm 0,99) \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad \varepsilon_{E_{\text{э+}}} = 2,28\%$$

$$\sigma'_- = (-431,71 \pm 10,97) \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad \varepsilon_{\sigma'_-} = 2,54\%$$

$$\sigma'_+ = (384,78 \pm 8,76) \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad \varepsilon_{\sigma'_+} = 2,28\%$$

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

$$E_{max} = (115,0 \pm 11,6) \frac{\text{В}}{\text{м}} \quad \varepsilon_{E_{max}} = 10\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы было проведено экспериментальное моделирование электростатического поля в слабо проводящей среде. Были построены сечения эквипотенциальных поверхностей и силовых линий, что позволило наглядно представить распределение потенциала в электролитической ванне. Также в ходе работы было обнаружено, что металлический проводник в электростатическом поле действует как эквипотенциал, так как разность потенциалов внутри него равна нулю. Это демонстрирует отсутствие напряжения внутри проводника и подтверждает теоретические положения о проводниках в электростатическом поле. Также в ходе лабораторной работы было выявлено, что самые высокие значения напряжённости электрического поля наблюдаются вокруг проводника, в то время как самые низкие значения фиксируются непосредственно в области проводника.