

УДК 631.862/620.93

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОМЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Гурьянов Дмитрий Валерьевич

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

г. Мичуринск, Россия

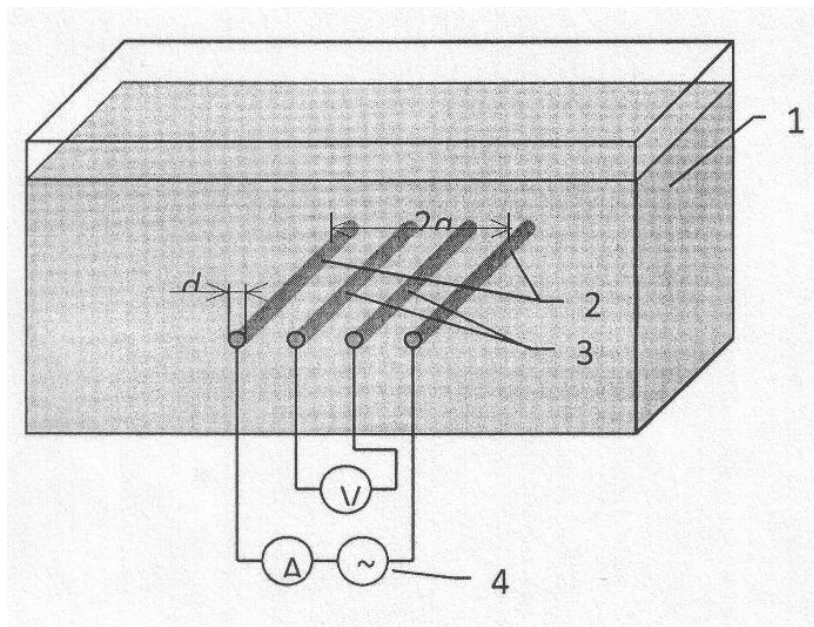
Аннотация. В статье предлагается конструкция измерительной ячейки для определения электропроводности помета в лабораторных условиях по четырехэлектродной схеме с параллельными цилиндрическими электродами. Близкое расположение электродов позволяет уменьшить влияние краевых эффектов и уменьшить погрешность измерения. Для предлагаемой ячейки теоретически получены формулы для определения удельной электропроводности помета и определен коэффициент установки.

Ключевые слова: помет, электропроводность, цилиндрические электроды, измерительная ячейка.

Применение данных по электропроводности помета является перспективным для оценки таких его параметров, как структура, влажность, проводимость, степень уплотнения, содержание органического вещества и растворенных в нем солей [1-7]. Важной является задача определения связи агротехнических свойств помета и его физических свойств, в частности его электропроводности.

Для измерения электропроводности помета в лабораторных условиях нами предлагается вариант ячейки для измерения его электропроводности,

использующий четырехэлектродную схему с параллельными цилиндрическими электродами (рисунок 1). Применение близко лежащих электродов позволяет уменьшить влияние краевых эффектов, поэтому точность измерения будет слабо зависеть от количества взятой навески помета и его распределения по ячейке.



1 - кювета с пометом; 2 - токовые электроды; 3 - потенциальные электроды; 4 - источник переменного тока

Рисунок 1 - Схема измерительной ячейки с цилиндрическими электродами

Для практического применения предлагаемой ячейки необходимо определить коэффициент установки K .

$$K = 2\pi a, \quad (1)$$

где a - расстояние между соседними электродами, м.

Пусть в неограниченной среде с удельным сопротивлением ρ расположены два цилиндрических электрода диаметром d на расстоянии $2a$ друг от друга (рисунок 1). Определим электрическое сопротивление и проводимость между ними.

Пусть $m = q/l$ - линейная плотность заряда на электродах. Поток вектора напряжённости электрического поля, создаваемый каждым электродом, по теореме Гаусса равен:

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon * \varepsilon_0} = E * 2\pi l,$$

(2)

где E - напряжённость электрического поля на расстоянии r от электрода, а теорема Гаусса применена к цилиндру радиуса r и длины l , коаксиальному с электродом.

Тогда напряжённость электрического поля, создаваемая одним электродом:

$$E = \frac{\tau}{2\pi r \varepsilon \varepsilon_0}. \quad (3)$$

Ток, протекающий от одного электрода к другому, определим проинтегрировав плотность тока по плоскости β , перпендикулярной плоскости электродов, параллельной им и лежащей на расстоянии a от каждого электрода. В каждой точке этой плоскости β результирующий вектор напряжённости электрического поля перпендикулярен этой плоскости и равен

$$E_{\perp} = \frac{\tau}{\varepsilon \varepsilon_0} * \frac{a}{y^2 + a^2},$$

где y - координата, отсчитываемая вдоль оси, перпендикулярной плоскости электродов.

По закону Ома плотность тока

$$j = \frac{E}{\rho}, \quad (4)$$

где ρ - удельное сопротивление среды.

Тогда $dI = j l dy$, где dI - ток, протекающий перпендикулярно β через площадку со сторонами dy и l . Суммарный ток

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} j l dy = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\rho} * \frac{\tau}{\pi \varepsilon \varepsilon_0} * \frac{a}{y^2 + a^2} l dy = \frac{l}{\rho} * \frac{\tau}{\pi \varepsilon \varepsilon_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{a}{y^2 + a^2} dy.$$

Вычисляя полученный интеграл, получаем

$$I = \frac{l}{\rho} * \frac{\tau}{\varepsilon \varepsilon_0}. \quad (5)$$

Зная напряжённость электрического поля, можно найти разность потенциалов между электродами, интегрируя вдоль прямой, соединяющей

электроды (ось лежит в плоскости электродов, перпендикулярно им и имеет начало посередине между электродами):

$$E = -\frac{d\varphi}{dx},$$

$$d\varphi = -Edx = -\left(\frac{\tau}{2\pi x \varepsilon \varepsilon_0} + \frac{\tau}{2\pi(2a-x)\varepsilon \varepsilon_0}\right) dx,$$

$$\Delta\varphi_{14} = \int_{d/2}^{2a-d/2} \left(\frac{\tau}{2\pi x \varepsilon \varepsilon_0} + \frac{\tau}{2\pi(2a-x)\varepsilon \varepsilon_0}\right) dx$$

$$= -\frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0} \int_{d/2}^{2a-d/2} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{2a-x}\right) dx,$$

Вычисляя получившийся интеграл, получаем:

$$\Delta\varphi_{14} = \frac{\tau}{\pi \varepsilon \varepsilon_0} \ln\left(\frac{d}{4a-d}\right) \quad (6)$$

Тогда искомое сопротивление между двумя электродами (приходящееся на длину l):

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln\left(\frac{4a-d}{d}\right). \quad (7)$$

Удельное сопротивление среды, рассчитываемое по измеренному сопротивлению R :

$$\rho = \frac{\pi l R}{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)}. \quad (8)$$

То есть, если в двухэлектродной схеме измерен ток I и разность потенциалов $\Delta\varphi_{14}$, то удельное электрическое сопротивление и удельная электропроводность равны:

$$\rho = \frac{\pi l}{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)} * \frac{\Delta\varphi_{14}}{I},$$

$$\gamma = \frac{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)}{\pi l} * \frac{I}{\Delta\varphi_{14}}. \quad (9)$$

Получим расчётную формулу для определения электропроводности при применении четырех электродов.

Пусть имеется два токовых электрода, и два потенциальных, лежащих на равных расстояниях $2a/3$ друг от друга (см. рис. 4).

Определим потенциалы электродов 2 и 3 относительно электрода 1 (принимается, что диаметр потенциальных электродов мал и они не искажают поля крайних электродов):

$$\begin{aligned}\varphi_2 &= - \int_{d/2}^{2a/3} \left(\frac{\tau}{2\pi x \varepsilon \varepsilon_0} + \frac{\tau}{2\pi(2a-x)\varepsilon \varepsilon_0} \right) dx = - \frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0} \ln \frac{4a-d}{2d} \\ \varphi_3 &= - \int_{d/2}^{4a/3} \left(\frac{\tau}{2\pi x \varepsilon \varepsilon_0} + \frac{\tau}{2\pi(2a-x)\varepsilon \varepsilon_0} \right) dx = - \frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0} \ln \frac{8a-d}{2d}\end{aligned}\tag{10}$$

Разность потенциалов между электродами 2 и 3:

$$|\Delta\varphi_{23}| = \frac{\tau}{2\pi \varepsilon \varepsilon_0} \ln 4.\tag{11}$$

Разность потенциалов между крайними электродами 1 и 4 $\Delta\varphi_{14}$ определяется по формуле (8). Поляризация электродов искажает измеренное значение разности потенциалов $\Delta\varphi_{14}$, но её можно определить по измеренной в эксперименте разности потенциалов $\Delta\varphi_{23}$:

$$\Delta\varphi_{14} = \frac{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)}{\ln 2} * \Delta\varphi_{23}.\tag{12}$$

Расчётная электропроводность помета в установке с четырьмя цилиндрическими электродами:

$$G_{14} = \frac{I_{14}}{\Delta\varphi_{14}} = \frac{\pi l \gamma}{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)} = \frac{I_{14}}{\frac{\ln\left(\frac{4a-d}{d}\right)}{\ln 2} * \Delta\varphi_{23}}.$$

Отсюда следует формула для расчёта удельной электропроводности помета, помещенного в измерительную ячейку с четырьмя равноотстоящими параллельными цилиндрическими электродами:

$$\gamma = -\frac{\ln 2 * I_{14}}{\pi l \Delta \varphi_{23}}. \quad (13)$$

Эта формула применима для определения электропроводности по четырехэлектродной схеме в предлагаемой ячейке. Коэффициент установки для неё:

$$K = \frac{\ln 2}{\pi l}. \quad (14)$$

Ошибка измерения электропроводности предлагаемой ячейки зависит от относительных ошибок определения тока (ε_I), напряжения (ε_U), длины (ε_l) и имеет тот же порядок. В формулу (14) не входят геометрические параметры электродов, поэтому предлагаемая конструкция измерительной ячейки не чувствительна к их изменению (при условии равенства расстояний между ними и малости диаметра электродов). Кроме того, близкое расположение электродов друг к другу и удаление их от стенок измерительной ячейки уменьшает искажающее влияние краевых эффектов.

Электропроводность помета является удобным параметром для оценки ее агротехнических свойств. Неоднородность помета и другие возмущающие факторы приводят к существенным ошибкам при измерении электропроводности.

Список литературы:

1. Гурьянов Д.В. Исследование удельного электрического сопротивления подстилочного навоза [Текст] / Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Гурьянова Ю.В., Аннагулыев Г.П. // Вестник Мичуринского ГАУ - №4. - 2017. - с.107-110.

MEASUREMENT OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF LITTER BY CYLINDRICAL PARALLEL ELECTRODES

Guryanov Dmitry Valerievich

candidate of technical Sciences, associate Professor

Michurinsk State Agrarian University,

Michurinsk, Russia

Annotation. The article proposes the design of the measuring cell for determining the conductivity of the litter in the laboratory on a four-electrode circuit with parallel cylindrical electrodes. The close location of the electrodes allows to reduce the influence of edge effects and reduce the measurement error. For the proposed cell, formulas for determining the specific electrical conductivity of the soil are theoretically obtained and the installation coefficient is determined.

Keywords: litter, electrical conductivity, cylindrical electrodes, measuring cell.