

## СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ

Лактионов И.С., аспирант; Бурмистрова А. А., студент

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

**Общая постановка задачи исследования.** С целью разработки агротехнических приемов по уходу за растениями, а также рациональных режимов полива, необходимо контролировать ряд параметров почвы, на которой они произрастают. Так как от этого, непосредственно, зависит экологическая и экономическая ситуация Украины. Одним из таких параметров является влажность почвы. Существующие методы измерения влажности почв разделяются на: прямые и косвенные. Наибольшее распространение получили измерители влажности почв, которые основаны на кондуктометрическом методе анализа. Данный факт обусловлен массогабаритными показателями измерительной аппаратуры и простотой методик измерения. Таким образом, возникает задача разработки и исследования средства измерительного контроля влажности почв.

**Постановка задачи исследования.** Целью статьи является разработка способа повышения точности измерителя влажности почвы, за счет компенсации дестабилизирующего температурного фактора. Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- 1) обоснован алгоритм компенсации дестабилизирующего температурного фактора;
- 2) проведены исследования по разработке способа уменьшения дополнительной погрешности;
- 3) выполнен анализ полученных результатов экспериментальных и теоретических исследований влияния температуры на точность определения влажности почвы кондуктометрическим методом.

**Решение поставленной задачи.** На основании анализа литературы [1], за основу построения измерителя влажности почвы был принят кондуктометрический метод контроля. Одним из основных недостатков данного метода является дестабилизирующее влияние температуры на результат измерения влажности почв.

В результате предварительных исследований [2] были определены рабочие диапазоны контролируемых величин: влажность почвы изменяется в диапазоне от 30 до 90 % и температура – от 10 до 30 °С. Максимально допустимая абсолютная погрешность измерения влажности почвы составляет 5 % [3].

В основу кондуктометрического метода анализа положена зависимость между удельным электрическим сопротивлением (УЭС) почвы и ее влажностью. Таким образом, влажность почвы определяется косвенным методом, путем непосредственного измерения УЭС. Проанализировав существующие средства измерения УЭС [1] установлено, что наиболее рациональным является использование четырехэлектродной измерительной установки, которая состоит из пары питающих (А и В) и пары измерительных (М и N) электродов. На основании проведенных исследований была разработана эквивалентная электрическая схема замещения четырехэлектродной измерительной установки, которая представлена на рис. 1.

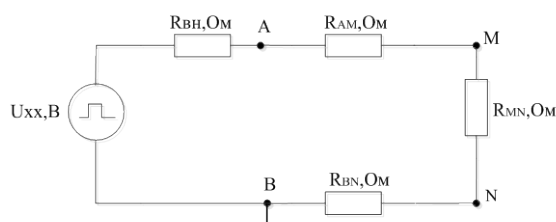


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема замещения четырехэлектродной установки

Путем анализа схемы, представленной на рис. 1, получена формула для расчета УЭС почвы:

$$\rho = \frac{U_{MN} \cdot R_{вн}}{\left( U_{XX} - \frac{l_{AB}}{l_{MN}} U_{MN} \right) \cdot K}, \quad (1)$$

где  $U_{MN}$  – падение напряжения на измерительных электродах, В;  $R_{вн}$  – внутреннее сопротивление источника напряжения, Ом;  $U_{XX}$  – напряжение холостого хода источника сигнала, В;  $l_{AB}$  – расстояние между питающими электродами, м;  $l_{MN}$  – расстояние между измерительными электродами, м;  $K$  – коэффициент измерительной установки, м<sup>-1</sup>.

Коэффициент измерительной установки вычисляется по формуле:

$$K = \frac{(1/l_{AM} - 1/l_{BM}) - (1/l_{AN} - 1/l_{BN})}{2\pi}. \quad (2)$$

На основании измеренного значения УЭС почвы может быть вычислена влажность по формуле [4]:

$$W = \gamma \cdot \rho^\beta, \quad (3)$$

где  $W$  – влажность почвы, %;  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление почвы, Ом·м;  $\gamma, \beta$  – коэффициенты аппроксимации функции.

На основании результатов предварительных исследований разработан макетный образец измерителя влажности почвы и проведены его лабораторные экспериментальные испытания. Макетный образец измерителя влажности почвы состоит из: 1) источника напряжения с  $U_{xx}=5$  В и внутренним сопротивлением 190 Ом. Нестабильность величины внутреннего

сопротивления источника составляет  $\pm 3$  % в диапазоне изменения сопротивления нагрузки от 50 Ом до 1 кОм. Частота сигнала, генерируемого источником напряжения, равна 1 кГц. Форма сигнала – двухполярные прямоугольные импульсы, типа меандр. 2) блока детектирования падения напряжения между измерительными электродами (М и N), состоящего из: rms-to-dc преобразователя (конвертирует действующее значение напряжения в эквивалентное постоянное); цифрового вольтметра Unit UT71с с верхним пределом измерения 20 В, обеспечивающим погрешность измерения не более, чем  $\pm(0,025 \%+3)$ . 3) измерительного канала (ИК) температуры, построенного на базе термоэлектрического преобразователя с предельной абсолютной погрешностью  $\pm 1$  °С в диапазоне изменения температур от 0 до 70 °С.

В ходе экспериментальных лабораторных исследований макетного образца средства измерительного контроля влажности почвы была снята его градуировочная характеристика. Данная характеристика была получена согласно предложенному алгоритму:

- на основании методики, которая изложена в нормативном документе ГОСТ 28268-89 «Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений» была установлена начальная масса ( $m_0=1000\pm 5$  г) и соответствующая ей относительная влажность почвы ( $W_0=5,0\pm 0,3$  %) [3];

- путем добавления дистиллированной воды, известной массы, изменялась относительная влажность исследуемого образца почвы в диапазоне от 30 до 90 %;

- при каждом изменении относительной влажности почвы, с шагом  $\Delta W$  равным 10 %, выполнялся замер падения напряжения между измерительными электродами кондуктометрической ячейки;

- в условиях проведения эксперимента поддерживались постоянными: температура почвы –  $20\pm 1$  °С; относительная влажность воздуха помещения лаборатории –  $60\pm 3$  %.

Полученная эмпирическая градуировочная характеристика и результат аппроксимации функцией (3) приведены на рис. 2.

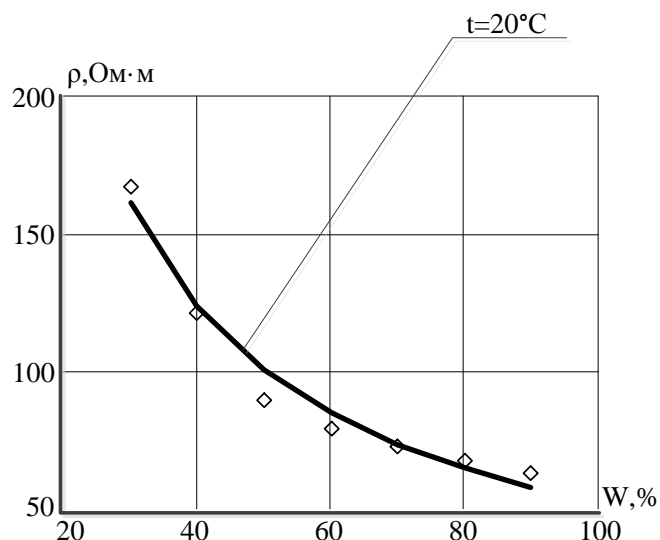


Рисунок 2 – Градуировочная характеристика измерителя влажности почвы

Путем аппроксимации экспериментальных данных, представленных на рис. 2, методом градиентного спуска были установлены коэффициенты уравнения (3):  $\gamma=7096$ ,  $\beta=-1,08$ . Определены математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение абсолютной погрешности аппроксимации экспериментальных данных:  $m_p=4,7$  Ом·м;  $\sigma_p=\pm 0,3$  Ом·м.

В результате анализа зависимости, которая представлена на рис. 2, была вычислена средняя чувствительность измерителя по влажности:

$$|S_W| = \frac{\Delta\rho}{\Delta W} = \left| \frac{58,1 - 161,3}{90 - 30} \right| = 1,7 \text{ Ом}\cdot\text{м}/\% \quad (4)$$

На основании априорной информации об объекте контроля [1, 2, 4] установлено, что температура является дестабилизирующим фактором в процессе измерения влажности почвы кондуктометрическим методом. Температурная зависимость УЭС почвы описывается уравнением [4]:

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (5)$$

где  $\rho_0$  – нормальное значение УЭС, при температуре  $20^\circ\text{C}$ , Ом·м;  $\alpha$  – коэффициент аппроксимации функции температурной зависимости;  $t$  – измеренное значение температуры,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_0$  – нормальное значение температуры, равное  $20^\circ\text{C}$ .

Таким образом, подставляя формулу (5) в (3), получаем выражение для расчета влажности почв с учетом температурного фактора:

$$W = \gamma[\rho_0(1 + \alpha(t - t_0))]^\beta \quad (6)$$

Коэффициент  $\alpha$  был найден путем аппроксимации экспериментальных данных [4] и численно равен 0,043.

На основании экспериментальных данных с учетом формулы (6), было получено семейство градуировочных характеристик измерителя влажности почвы при различных температурах, которые представлены на рис. 3.

В результате анализа зависимостей, представленных на рис.3, был определен коэффициент чувствительности измерителя по температуре при средней влажности  $W=60\%$ :

$$S_t = \frac{\Delta\rho}{\Delta t} = \frac{121,1 - 48,3}{30 - 10} = 3,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}/^\circ\text{C} \quad (7)$$

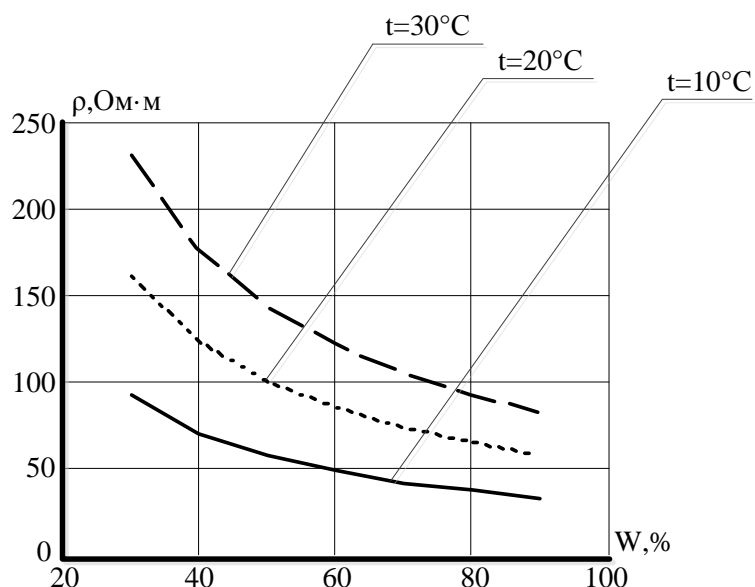


Рисунок 3 – Семейство градуировочных характеристик измерителя влажности почвы в диапазоне изменения  $W$  от 30 до 90% и  $t$  от 10 до 30°C

На основании полученного значения коэффициента чувствительности измерителя по температуре была рассчитана дополнительная погрешность измерения УЭС, которая обусловлена дестабилизирующим влиянием температуры:

– при условии некомпенсированного влияния температуры:

$$\Delta\rho_{\text{дон}} = S_t \cdot \Delta t = 3,6 \cdot (\pm 10) = \pm 36 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

где  $S_t$  – коэффициент чувствительности по температуре;  $\Delta t$  – погрешность измерения температуры, равная  $\pm 10$  °C.

– при условии компенсированного влияния температуры с максимально допустимой погрешностью измерения температуры почвы  $\pm 0,3$  °C [5]:

$$\Delta\rho_{\text{дон}} = S_t \cdot \Delta t = 3,6 \cdot (\pm 0,3) = \pm 1,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

На основании полученных значений  $\Delta\rho_{\text{дон}}$  с учетом чувствительности измерителя по влажности была найдена дополнительная погрешность измерения влажности почвы:

– при условии некомпенсированного влияния температуры:

$$\Delta W_{\text{дон}} = \frac{\Delta\rho_{\text{дон}}}{S_W} = \frac{\pm 36}{1,7} = \pm 21,2 \%,$$

что превышает максимально допустимую погрешность 5 % [3].

– при условии компенсированного влияния температуры:

$$\Delta W_{\text{дон}} = \frac{\Delta\rho_{\text{дон}}}{S_W} = \frac{\pm 1,1}{1,7} = \pm 0,64 \%,$$

что не превышает максимально допустимую погрешность 5 % [3].

Таким образом, учет и компенсация дестабилизирующего влияния температуры на результат измерения влажности почвы кондуктометрическим методом является обязательным условием. Следовательно, включение вспомогательного средства измерения температуры почвы в структуру измерителя влажности позволяет уменьшить дополнительную погрешность в 30 раз.

Проанализировав результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований, была обоснована обобщенная функциональная схема средства измерительного контроля влажности почвы, которая представлена на рис. 4.

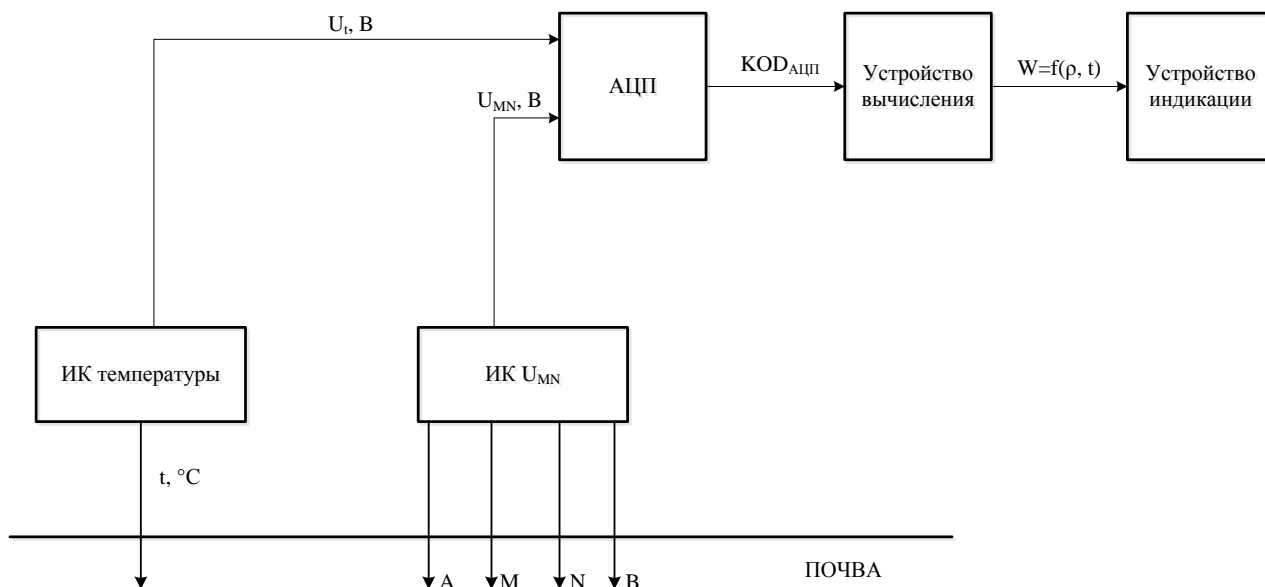


Рисунок 4 – Обобщенная функциональная схема измерителя влажности почв

Принцип работы разработанного измерителя основан на параллельном контроле УЭС в диапазоне от 33 до 231 Ом·м и температуры в диапазоне от 10 до 30 °С с последующим пересчетом полученных значений физических величин в относительную влажность почвы в диапазоне от 30 до 90 %.

#### **Выводы.**

1. Разработан способ уменьшения дополнительной погрешности измерения влажности почвы кондуктометрическим методом.
2. В результате проведенных исследований определены основные метрологические характеристики измерителя влажности почвы:
  - чувствительность по влажности – 1,7 Ом·м/% в диапазоне изменения влажности от 30 до 90 %;
  - чувствительность по температуре – 3,6 Ом·м/°С в диапазоне изменения температуры от 10 до 30 °С;
  - абсолютная дополнительная погрешность измерения влажности при некомпенсированном влиянии температуры –  $\pm 21,2$  %;
  - абсолютная дополнительная погрешность измерения влажности при компенсированном влиянии температуры –  $\pm 0,64$  %.
3. Предложенный способ компенсации дестабилизирующего температурного фактора позволил уменьшить дополнительную погрешность измерения влажности в 30 раз.

#### **Перечень ссылок**

1. Шеин Е.В. Курс физики почв: Учебник/ Е.В. Шеин. – М.: МГУ, 2005. – 432 с.
2. Вовна А.В. Математическая модель компьютеризированной системы измерительного контроля влажности почвы/ А.В. Вовна, И.С. Лактионов// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк, 2013. – Випуск 2 (25). – с. 197 – 206.
3. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений: Межгосударственный стандарт ГОСТ 28268-89. – [Действующий от 2006-01-23]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.
4. Нерпин С.В. Физика почв/ С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. – 584 с.
5. Грунты. Метод полевого определения температур: Государственный стандарт ГОСТ 25358-82. – [Действующий от 1983-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.