

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.

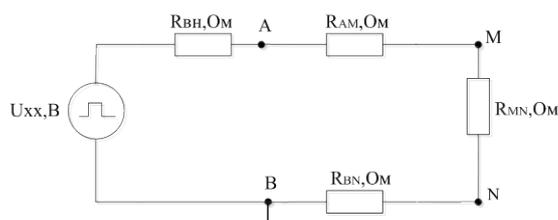


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема замещения четырехэлектродной установки

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⁻¹.

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, %; ρ – удельное электрическое сопротивление почвы, Ом·м; γ, β – 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 ± 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 ± 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 ΔW равным 10 %, выполнялся замер падения напряжения между измерительными электродами кондуктометрической ячейки;

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

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

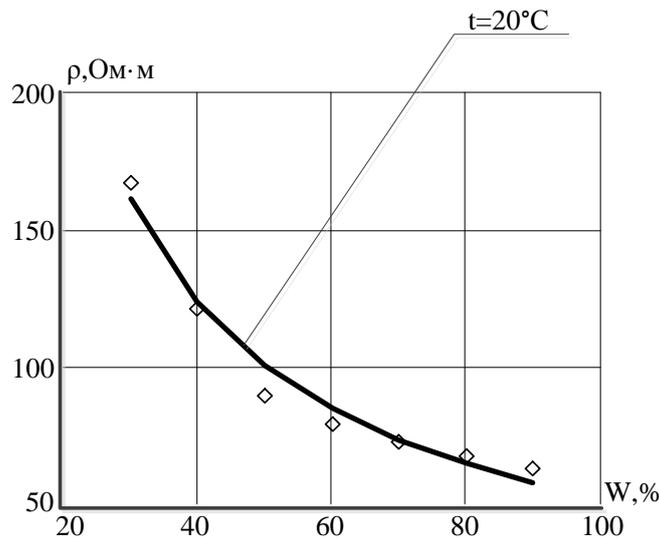


Рисунок 2 – Градуировочная характеристика измерителя влажности почвы

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:

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

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 ρ_0 – нормальное значение УЭС, при температуре 20°C , Ом·м; α – коэффициент аппроксимации функции температурной зависимости; t – измеренное значение температуры, $^\circ\text{C}$; t_0 – нормальное значение температуры, равное 20°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 α 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 $W=60\%$:

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

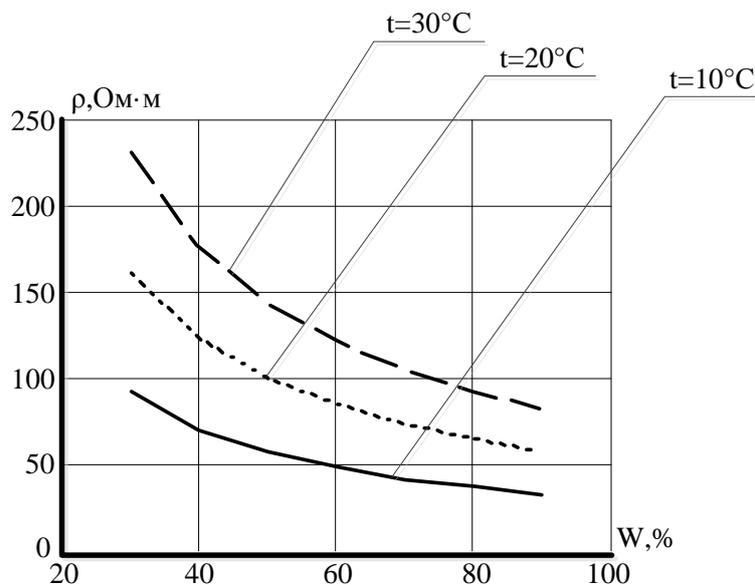


Рисунок 3 – Семейство градуировочных характеристик измерителя влажности почвы в диапазоне изменения W от 30 до 90% и t от 10 до 30°C

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; Δt – погрешность измерения температуры, равная ± 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.

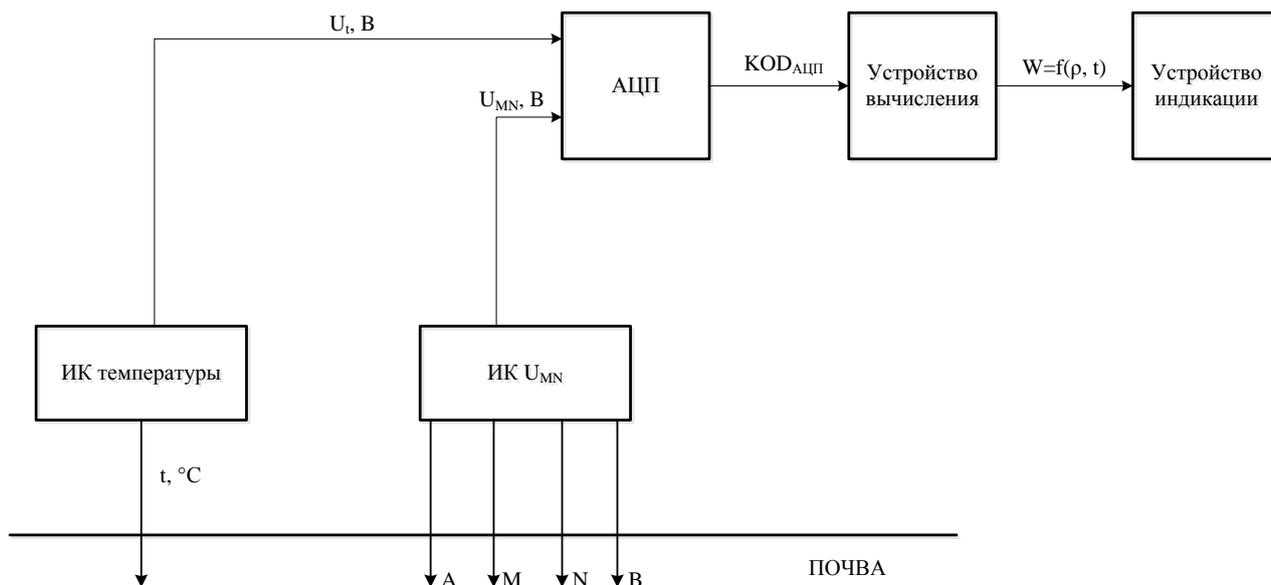


Рисунок 4 – Обобщенная функциональная схема измерителя влажности почв

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.