

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

№ 2(27) '2014

Донецьк
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

***Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”***

Всеукраїнський науковий збірник

Заснований у липні 1998 року

Виходить 2 рази на рік

№ 2(27) '2014

Донецьк
2014

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет.

Редакційна колегія: О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108)

ЗМІСТ

	Стор.
Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів	5
Мироненко Л.П. Два новых метода доказательства фундаментальных пределов в математическом анализе	6
Руссиян С.А. Оцінка ефективності замикання пошкодженої фази мережі на землю як засобу підвищення електробезпеки дільничої мережі шахти напругою 3 (3,3) кВ	11
Скоробогатова И.В., Бирюков А.Б., Гавриленко Б.В., Неежмаков С.В., Гнителиев П.А. Экспериментальное исследование энергосберегающих режимов в камерной печи	19
Ставицький В.М. Математична модель розгалуженої конвеєрної лінії	27
Федюн Р.В., Пихно Э.В. Математическая модель полета конвертоплана	36
Федюн Р.В., Табаленкова Т.В., Попов В.А. Автоматизация процесса химической очистки воды ТЭС	45
Ченгарь О.В. Метод Парето-оптимизации производственного расписания на основе «направленного» муравьиного алгоритма	54
Чернышев Н.Н., Волуева О.С. Компенсация застарания канала дозирования жидкого металла в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ	62
Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації	70
Климаш М.М., Красько О.В., Максимюк Т.А. Метод спектрально-часового мультиплексування інформаційних потоків в оптичних мережах доступу	71
Сахаров В.И., Сахарова С.В. Экономичный Ethernet доступ на микроконтроллере	80
Світлична В.А., Землянська С.Ю., Гавенко С.С. Метод розподілу обслуговуючих робіт при виконанні замовлень	85
Серов Ю.О., Матієшин Л.М. Проблеми функціонування веб-сайтів міських рад невеликих міст України	94
Скрупський С.Ю., Доля А.С. Фрактальне ущільнення відеоінформації у розподілених комп'ютерних системах	101
Стрихалюк Б.М., Шпур О.М., Селюченко М.О. Визначення доступності програмних комплексів з сервісно-орієнтованою архітектурою	109
Ткаченко Н.О., Воропаєва В.Я. Алгоритм роботи інформаційно-пошукової системи зі зворотним зв'язком	120
Федоров Е.Е. Метод синтеза вокальных звуков речи по эталонным образцам на основе саундлетов	127
Червінська Н.В., Клімов І.О., Ігнатенко Є.Г. Аналіз дослідження протоколів маршрутизації для бездротових AD-HOC мереж	138
Шаховська Н.Б., Болюбаш Ю.Я., Верес О.М. Організація великих даних у розподіленому середовищі	147
Шрамко Н.А., Молоковський И.А., Турупалов В.В. Исследование влияния помех при распространении радиоволн в условиях ограниченного пространства	156

Щербов І.Л., Воропаєва В.Я., Вашакідзе Г.А. Алгоритм прийняття ризику з метою забезпечення безпеки ТКС	164
Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади	174
Куценко В.П. Оцінка комплексних узагальнених величин спрямованого хвильовідного відгалужувача з використанням нечіткої логіки	175
Лактионов И.С., Вовна А.В. Способ уменьшения дополнительной погрешности измерителя влажности почвы оранжерей ботанического сада	183
Поздняков Е.К. Исследование входных параметров метода определения дальности в многопозиционных пассивных системах при помощи функций чувствительности	192
Соломічев Р.І. Дослідження двопроменевого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації дисперсності пилу в умовах вугільних шахт	200
Соломичева С.В. Обоснование выбора пьезоэлектрического преобразователя измерительного канала контроля уровня жидкости в барабане котла	209
Цололо С.О. Оптимізація схеми автомата мура в базисі FPGA	220

Розділ 3

Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади

УДК 621.3.088.3:621.351

И.С. Лактионов (аспирант), А.В. Вовна (канд. техн. наук, доц.)
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра электронной техники
e-mail: ivanlaktionov88@mail.ru; Vovna_Alex@ukr.net

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ОРАНЖЕРЕЙ БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Разработан способ уменьшения дополнительной погрешности средства измерительного контроля влажности почвы в условиях оранжерей ботанического сада. Обоснована методика компенсации дестабилизирующего влияния рН на результат измерения влажности почвы. В результате лабораторных испытаний макетного образца измерителя установлены его основные метрологические характеристики: чувствительность по влажности – 0,6 Ом·м/% в диапазоне изменения от 30 до 90 %; чувствительность по рН – 7,3 Ом·м/ед. в диапазоне изменения от 5 до 8 ед.; абсолютное значение основной погрешности измерения влажности, которая обусловлена шумовой составляющей детектируемого падения напряжения, составила $\pm 1,5$ %; абсолютное значение дополнительной погрешности измерения влажности, которая обусловлена дестабилизирующим влиянием рН, составила $\pm 2,5$ %. Абсолютное значение суммарной погрешности измерения влажности почвы, при условии компенсации дестабилизирующего влияния рН, составило $\pm 2,9$ %, что не превышает максимально допустимого значения межгосударственного стандарта ± 5 %.

Ключевые слова: способ, измерение, влажность, кислотность, погрешность, почва.

Общая постановка задачи исследования

Эффективное использование земель зависит от исследования их частных агроэкологических показателей: физических, химических, физико-химических и биологических. Из четырех основных физических почвенных параметров (механическое сопротивление, влажность, аэрация и температура), влажность является наиболее важным [1]. Проблема исследования влажности почв в условиях оранжерей ботанического сада имеет явно выраженные теоретические и практические аспекты. С теоретической точки зрения, актуальность исследований влажности почвы связана с недостаточностью знаний о принципах воздействия влаги на режимы развития растений. В прикладном плане актуальность изучения влажности почв необходимо рассматривать в экологической, сельскохозяйственной, экономической и других плоскостях [2]. С целью разработки агротехнических приемов по уходу за растениями оранжерей ботанического сада необходимо выполнять экспресс-анализ влажности почвы, так как выращивание интродуцированных культур весьма требовательно к запасам продуктивной влаги в почве. Следовательно, разработка и исследование средства измерительного контроля влажности почвы в полевых условиях, принцип работы которого основан на инструментальных методах анализа, является актуальной научно-технической задачей.

Постановка задач исследования

Целью статьи является повышение точности измерителя влажности почвы в условиях оранжерей ботанического сада. Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Разработать алгоритм уменьшения дополнительной погрешности измерителя влажности почвы.

2. Провести исследования влияния pH на метрологические характеристики макетного образца измерителя влажности почвы.

3. Проанализировать полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований и обосновать метод компенсации дестабилизирующего влияния pH на точность определения влажности почвы.

Результаты исследований

На основании анализа существующих методов и средств контроля влажности почвы [3], а также результатов предварительных исследований [4], обоснован выбор метода определения влажности почв. В основу принципа работы данного измерителя положен кондуктометрический метод анализа. Этот метод основан на косвенном определении влажности путем непосредственного измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) почвы. В результате анализа факторов влияющих на точность измерения влажности почвы предложенным методом установлено, что проводимость солей почвенного раствора является дестабилизирующим параметром [5]. С точки зрения электрохимического анализа почв переносчиками заряда в почвенном растворе являются свободные ионы, а не их соединения (соли). Величина pH является количественной мерой активности ионов H^+ и OH^- и может выступать оценочной характеристикой ионной составляющей общего удельного сопротивления почвы, так как предельная молярная проводимость ионов $\lambda_{H^+} = 349,8 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ и $\lambda_{OH^-} = 198,3 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$, что в (3..10) раз больше, чем у других ионов [6]. На основании анализа работ [1, 7] с последующим уточнением выборки статистических данных специалистами Донецкого ботанического сада НАН Украины, были установлены рабочие диапазоны относительной влажности почвы – от 30 до 90 %; температуры – от 10 до 30 °C и кислотности – от 5 до 8 ед.

В результате предварительных исследований [4] обоснована структура измерительной установки контроля влажности почвы (см. рис. 1) и разработан ее макетный образец.

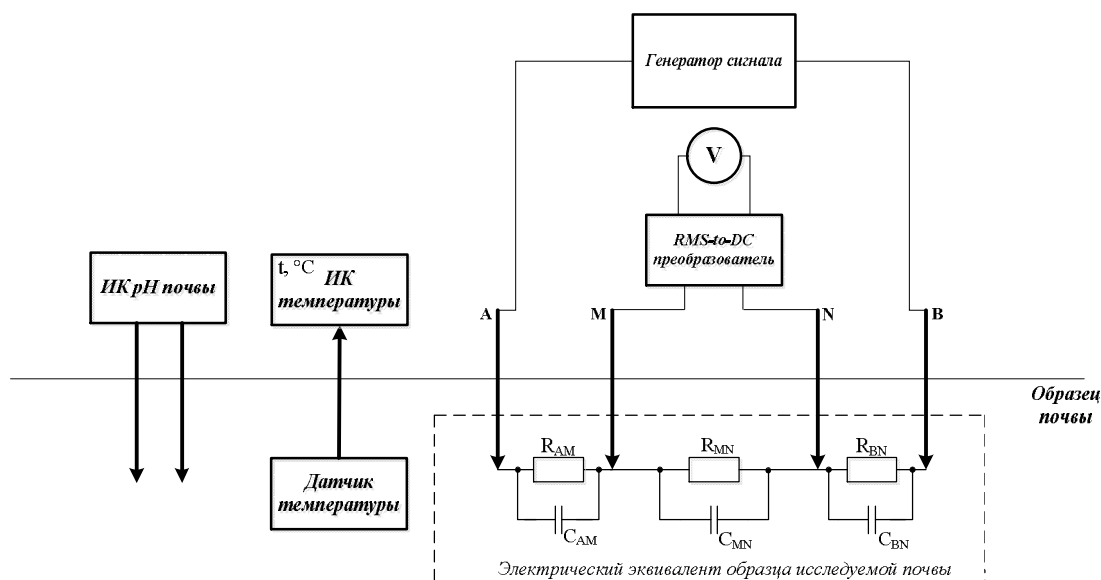


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема измерителя влажности почвы

Сконструированный макетный образец измерителя влажности почвы состоит из:

1. Генератора сигнала со следующими техническими характеристиками:

- действующее значение напряжения, генерируемого источником сигнала равно 5 В;
- внутреннее сопротивление генератора сигнала – 200 Ом. Изменение величины внутреннего сопротивления генератора сигнала, при изменении сопротивления нагрузки от 50 Ом до 1 кОм, составляет $\pm 3\%$;

– форма сигнала – двухполярные прямоугольные импульсы (меандр). Данная форма напряжения, генерируемого спроектированным источником сигнала, выбрана с целью минимизации дестабилизирующего влияния эффекта поляризации электродов;

– диапазон регулирования частоты сигнала: от 100 Гц до 100 кГц, выбор которого обусловлен тем, что на более низких частотах проявляется эффект поляризации электродов, а на более высоких – эффекты релаксационного и электрофоретического торможения, которые вызваны частотной зависимостью величины диэлектрической проницаемости жидкой фазы почвы [5, 6].

2. Блока детектирования падения напряжения между измерительными электродами (М и N), состоящего из следующих функциональных узлов:

– rms-to-dc преобразователь (конвертирует действующее значение напряжения в эквивалентное постоянное). Данный преобразователь сконструирован на базе микросхемы AD736 [8] с целью уменьшения инструментальной погрешности измерителя, поскольку инструментальная погрешность цифровых вольтметров в режиме измерения постоянного напряжения значительно ниже, чем переменного;

– цифровой вольтметр Unit UT71с с верхним пределом измерения 20 В, обеспечивающим погрешность измерения не более, чем $\pm \left(0,025 \frac{U_x}{100} + 3D \right) \%$.

3. Измерительного канала (ИК) температуры. В качестве ИК температуры использовался электронный термометр, построенный на термоэлектрическом преобразователе с предельной абсолютной погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$ в диапазоне изменения температур от 0 до 70°C .

4. Измерительного канала (ИК) кислотности почвы. В качестве ИК кислотности почвы использовался рН-метр КС-300В, который обеспечивает абсолютную погрешность измерения не более 0,5 ед. в диапазоне изменения рН от 3 до 9 ед.

Исследуемый образец почвы, на основании метода аналогий, представлен эквивалентной электрической схемой замещения (см. рис. 1). Активное сопротивление обусловлено проводимостью твердой фазы почвы, а реактивное – ионной проводимостью жидкой фазы почвы. Данный подход позволяет математически обосновать вклад различных типов проводимости в величину суммарного УЭС почвы с целью учета и компенсации дестабилизирующего влияния рН на метрологические характеристики измерителя влажности почвы.

В основу предлагаемого способа уменьшения дополнительной погрешности измерения влажности положена зависимость УЭС почвы и, как следствие, влажности от рН. Данная задача решается путем введения аппаратной избыточности за счет использования вспомогательного средства измерения рН почвы. В итоге измеренное значение рН позволяет ввести поправку на результат измерения влажности почвы кондуктометрическим методом на основании следующей методики:

1. Определение величины УЭС почвы для нормального значения рН (нейтральная почва, рН=7). Величина УЭС определяется на основании детектирования падения напряжения между измерительными электродами М и N (см. рис. 1) кондуктометрической ячейки с последующим пересчетом по формуле [4]:

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

где ρ – УЭС почвы, Ом·м; U_{MN} – детектируемое падение напряжения между измерительными электродами, В; $R_{\text{вн.}}$ – внутреннее сопротивление источника сигнала, 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, зависящий от расположения измерительных и питающих электродов, м^{-1} .

2. Вычисление относительной влажности почвы для нормального значения рН на основании измеренного значения УЭС по формуле [5]:

$$W = \beta \cdot \rho^\gamma, \quad (2)$$

где W – относительная влажность почвы, %; β и γ – коэффициенты аппроксимации функции, которые характеризуют тип исследуемой почвы.

3. Измерение рН в рабочем диапазоне от 5 до 8 ед. и введение поправки на результат измерения УЭС почвы по формуле (3). Выражение (3) было получено на основании анализа уравнений регрессии зависимостей между УЭС и содержанием для различных типов почв [5, 9]. Установлено, что данные регрессионные зависимости являются линейными. Следовательно, зависимость между УЭС и рН почвы, по аналогии с температурной, имеет следующий вид:

$$\rho(pH) = \rho(pH_7) \cdot [1 + \alpha \cdot (pH_7 - pH)], \quad (3)$$

где pH_7 – нормальное значение кислотности почвы (нейтральная почва); $\rho(pH_7)$ – значение УЭС, соответствующее нейтральной почве, Ом·м; α – коэффициент аппроксимации функции.

4. Введение поправки на результат определения влажности почвы с учетом дестабилизирующего влияния рН по формуле (4), которая получена путем подстановки выражения (3) в формулу (2):

$$W = \beta \cdot (\rho(pH_7) \cdot [1 + \alpha(pH_7 - pH)])^\gamma. \quad (4)$$

В результате экспериментальных лабораторных исследований дестабилизирующего влияния рН на метрологические характеристики измерителя влажности почвы получены следующие зависимости: $\rho = f(pH)_{W=60\%}$ в рабочем диапазоне изменения рН от 5 до 8 ед.; $\rho = \varphi(W)_{pH=7}$ в рабочем диапазоне изменения влажности почвы от 30 до 90 % и градуировочная характеристика измерителя – $\rho = \xi(W, pH)$. В ходе выполнения эксперимента, на основании методики ГОСТ 28268-89 «Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений» была установлена начальная масса ($m_0 = 600 \pm 2$ г) и соответствующая ей относительная влажность почвы ($W_0 = 5,0 \pm 0,1$ %) [10]. Путем добавления жидкостей различной природы известной массы (раствор уксусной кислоты различной концентрации, водные растворы гидроксида натрия и калия, дистиллированная вода) изменялись относительная влажность и кислотность почвы в соответствующих рабочих диапазонах. При каждом изменении относительной влажности почвы, с шагом ΔW равным 10 %, для заранее установленного значения рН почвы с шагом ΔpH равным 1 ед., детектировалось падение напряжения между измерительными электродами кондуктометрической ячейки в течение 5 минут с интервалом времени Δt , равным 30 сек, с целью усреднения измеренных значений падения напряжения. В условиях проведения эксперимента поддерживались постоянными: температура почвы – 20 ± 1 °С и относительная влажность воздуха помещения лаборатории – 60 ± 3 %.

Апостериорная информация, полученная в результате выполнения данного эксперимента, позволила получить графический вид зависимости $\rho = f(pH)_{W=60\%}$ и аппроксимировать ее выражением (3), которая представлена на рис. 2, а. Также была снята характеристика $\rho = \varphi(W)_{pH=7}$ и аппроксимирована функцией (2), которая представлена на рис. 2, б. Анализ зависимости, представленной на рис. 2, а, позволил установить значение коэффициента аппроксимации уравнения (3) – α , который составил -0,364. Стоит отметить, что данный коэффициент не является величиной постоянной, а зависит от плотности упаковки почвы [9]. Полученное численное значение было найдено для модели рыхлой упаковки, что соответствует верхним слоям почвы оранжевой ботанического сада.

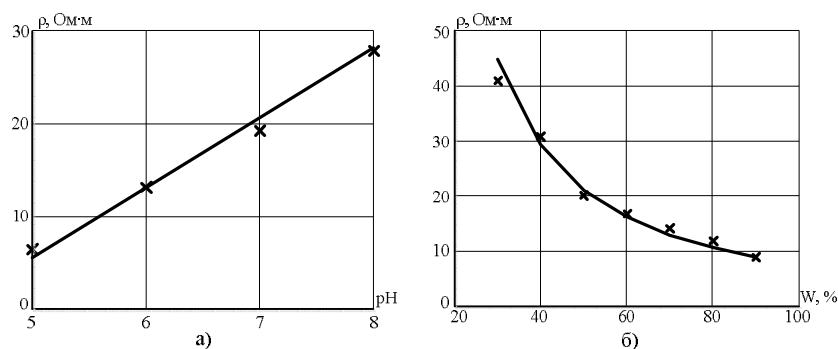


Рисунок 2 – Результат експериментальних досліджень: а) – залежність УЭС почвы от рН при вологості – 60 %; б) – залежність УЭС почвы от вологості при рН – 7 ед.

Определены относительные значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения (СКО) погрешности аппроксимации: $m_p=5,4\%$ и $\sigma_p=\pm 1,4\%$. Путем анализа зависимости, представленной на рис. 2, а, рассчитана чувствительность измерителя по кислотности:

$$S_{pH} = \frac{\Delta \rho}{\Delta pH} = \frac{28,1 - 6,3}{8 - 5} = 7,3 \text{ Ом} \cdot \text{м/ед.}$$

На основании анализа зависимости, представленной на рис. 2, б, установлены численные значения коэффициентов аппроксимации уравнения (2) методом градиентного спуска: $\beta=391,9$ и $\gamma=-0,65$. Определены относительные значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения (СКО) погрешности аппроксимации: $m_p=6,3\%$ и $\sigma_p=\pm 2,3\%$. Путем анализа зависимости, представленной на рис. 2, б, рассчитана средняя чувствительность измерителя по влажности:

$$S_W = \frac{\Delta \rho}{\Delta W} = \frac{44,85 - 8,82}{90 - 30} = 0,6 \text{ Ом} \cdot \text{м/\%}.$$

Экспериментальные данные позволили получить градуировочную характеристику измерителя влажности почвы в рабочих диапазонах изменения относительной влажности и рН, а также аппроксимировать ее выражением (4), которая представлена на рис. 3.

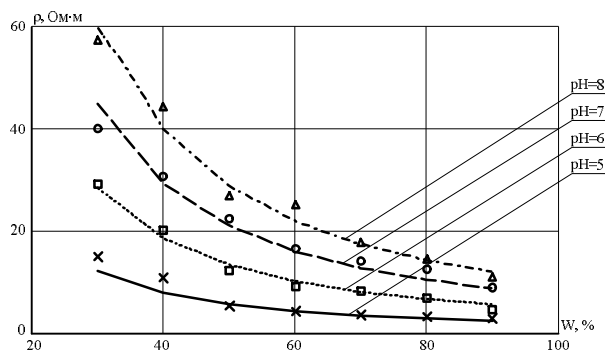


Рисунок 3 – Градуировочная характеристика измерителя влажности почвы при изменении W от 30 до 90 % и рН от 5 до 8 ед.

При проведении лабораторных испытаний макетного образца измерителя влажности почвы установлено амплитудное значение шумовой составляющей детектируемого падения напряжения. Полученное действующее значение $U_{ш}$ не превышает ± 20 мВ, что с доверительной вероятностью ($P=0,95$) соответствует среднеквадратичному значению ± 10 мВ. Шумовая составляющая детектируемого падения напряжения обуславливает основную погрешность измерения УЭС почвы и, как следствие, погрешность определения влажности почвы кондуктометрическим методом. Основная погрешность измерения УЭС

почвы ($\Delta\rho_{\text{осн.}}$) была определена на основании уравнения (1) с учетом $U_{\text{ш}}$ и составила $\pm 0,9$ Ом·м. Полученное значение $\Delta\rho_{\text{осн.}}$ с учетом чувствительности измерителя по влажности (S_W) позволило рассчитать основную погрешность измерения влажности почвы:

$$\Delta_{W_{\text{осн.}}} = \frac{\Delta\rho}{S_W} = \frac{\pm 0,9}{0,6} = \pm 1,5 \%,$$

что в пересчете в относительную величину погрешности измерения влажности почвы соответствует диапазону изменения δ_W от 5 % (при $W_{\text{min}}=30$ %) до 1,7 % (при $W_{\text{max}}=90$ %).

Полученное значение коэффициента чувствительности по pH (S_{pH}) позволило рассчитать дополнительную погрешность измерения УЭС почвы по формуле:

$$\Delta\rho_{\text{дон.}} = S_{\text{pH}} \cdot \Delta\text{pH}. \quad (5)$$

При условии некомпенсированного дестабилизирующего влияния pH в рабочем диапазоне от 5 до 8 ед. отклонение величины pH от нормального значения (pH=7) лежит в диапазоне от -2 до +1 ед. На основании формулы (5) абсолютная дополнительная погрешность измерения УЭС почвы изменяется от -14,6 Ом·м до +7,3 Ом·м. В пересчете в относительную величину дополнительной погрешности данный диапазон составил от -69 % до +35 %, что превышает максимально допустимое значение – 7,5 %, указанное в нормативной документации [11].

При условии компенсации дестабилизирующего влияния pH с максимально допустимой погрешностью измерения $\Delta\text{pH}=0,2$ [11], дополнительная погрешность измерения УЭС почвы ($\Delta\rho_{\text{дон.}}$) равна $\pm 1,5$ Ом·м. При пересчете в относительную величину погрешности $\delta\rho_{\text{дон.}}$ равна 6,1 %, что не превышает максимально допустимого значения 7,5 %, указанного в нормативной документации [11].

Анализ полученных значений дополнительных погрешностей измерения УЭС почвы свидетельствует о необходимости учета и компенсации дестабилизирующего влияния кислотности на результат измерения влажности почвы за счет использования вспомогательного средства измерения pH, что позволяет уменьшить дополнительную погрешность в 5 раз. Полученное значение дополнительной погрешности измерения УЭС почвы с учетом коэффициента чувствительности по влажности позволило вычислить дополнительную погрешность измерения влажности почвы:

$$\Delta_{W_{\text{дон.}}} = \frac{\Delta\rho_{\text{дон.}}}{S_W} = \frac{\pm 1,5}{0,6} = \pm 2,5 \%,$$

что в пересчете в относительную величину дополнительной погрешности измерения влажности почвы соответствует диапазону изменения $\delta_{W_{\text{дон.}}}$ от 8,3 % (при $W_{\text{min}}=30$ %) до 2,8 % (при $W_{\text{max}}=90$ %).

Абсолютное значение суммарной погрешности измерения влажности почвы определено по формуле [12]:

$$\Delta_{\Sigma}^W = \sqrt{\Delta_{W_{\text{осн.}}}^2 + \Delta_{W_{\text{дон.}}}^2} = \pm 2,9 \%,$$

из которой следует, что полученное значение абсолютной погрешности, равно $\pm 2,9$ %, при условии компенсации дестабилизирующего влияния pH. В рабочем диапазоне изменения относительной влажности почвы от 30 до 90 % абсолютная погрешность не превышает максимально допустимого значения, указанного в нормативной документации [10] ± 5 %.

Выводы

1. Разработан способ повышения точности измерителя относительной влажности почвы в условиях оранжерей ботанического сада, который позволил уменьшить дополнительную погрешность измерения в 5 раз.

2. В результате лабораторных экспериментальных исследований макетного образца измерителя влажности почвы установлены его основные метрологические характеристики:

- чувствительность по влажности – 0,6 Ом·м/% в рабочем диапазоне изменения относительной влажности почвы от 30 до 90 %;
- чувствительность по кислотности – 7,3 Ом·м/ед. в рабочем диапазоне изменения pH почвы от 5 до 8 ед.;
- основная абсолютная погрешность измерения влажности – $\pm 1,5$ %;
- дополнительная абсолютная погрешность измерения влажности почвы, обусловленная дестабилизирующим влиянием pH, – $\pm 2,5$ %;
- суммарная абсолютная погрешность измерения влажности почвы, при условии компенсированного дестабилизирующего влияния pH, равна $\pm 2,3$ %, что не превышает максимально допустимого значения ± 5 %.

3. Разработанный измеритель влажности почвы позволил обосновать ряд агротехнических приемов по уходу за интродуцированными растениями оранжереи Донецкого ботанического сада НАН Украины.

Список использованной литературы

1. Kirkham M.B. Principles of soil and plant water relations/ M.B. Kirkham. – San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. – 519 p.
2. Киселев Е.Н. Территориальная структура и динамика поля влажности почвы в пределах степной зоны Западного Предкавказья: автореф. дис. на соиск. науч. степ. канд. геогр. наук: спец. 25.00.23 "Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов"/ Киселев Евгений Николаевич; Кубанский государственный университет. – Краснодар, 2009. – 23 с.
3. Шеин Е.В. Курс физики почв: учебник / Е.В. Шеин. – М.: МГУ, 2005. – 432 с.
4. 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». – 2013. – Випуск 2 (25). – С. 197 – 206.
5. Поздняков А.И. Электрофизические свойства некоторых почв / А.И. Поздняков, Ч.Г. Гюлалыев. – Москва-Баку: Адильоглы, 2004. – 240 с.
6. Краснов К.С. Физическая химия: [в 2 кн.]. – М.: Высшая школа, 2001. – Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: учеб. для вузов / [К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Горднев и др.]. – 2001. – 319 с.
7. Shao Guang-Cheng. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial root-zone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot paper/ Shao Guang-Cheng, Zhang Zhan-Yu, Liu Na, Yu Shuang-En, Xing Weng-Gang// Scientia Horticulturae. – Elsevier, 2008. – Vol. 119. – p. 11 – 16.
8. Analog Device [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD736.pdf. – Дата доступа: февраль 2014. – Загл. с экрана.
9. Нерпин С.В. Физика почв / С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. – 584 с.
10. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений: Межгосударственный стандарт ГОСТ 28268-89. – [Действующий от 2006-01-23]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 8 с.
11. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки: Межгосударственный стандарт ГОСТ 26423-85. – [Действующий от 1986-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2011. – 7 с.
12. Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. Учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высшая школа, 2001. – 205 с.

References

1. Kirkham, M.B. (2005), *Principles of soil and plant water relations*, Elsevier Academic Press, San Diego, USA.
2. Kiselev, E.N. (2009), Territorial'naja struktura i dinamika polja vlazhnosti pochvy v predelah stepnoj zony Zapadnogo Predkavkaz'ja, Abstract of Ph.D. dissertation, Fizicheskaja geografija i biogeografija geografija pochv i geohimija landshaftov, Kubanskij gosudarstvennyj universitet, Krasnodar, Russian Federation.
3. Shein, E.V. (2005), *Kurs fiziki pochv: Uchebnik*, MGU, Moscow, Russian Federation.
4. Vovna, A.V. and Laktionov, I.S. (2013), "Matematicheskaja model' komp'juterizirovannoju sistemy izmeritel'nogo kontrolja vlazhnosti pochvy", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. Serija: «Obchisljuval'na tehnika ta avtomatizacija»*, no. 2 (25), pp. 197 – 206.
5. Pozdnjakov, A.I. and Gjulalyev, Ch.G. (2004), *Jelektrofizicheskie svojstva nekotoryh pochv*, Adil'ogly, Moscow and Baku, Russian Federation and Azerbaijan.
6. Krasnov, K.S., Vorob'ev, N.K. and Gordnev, I.N. (2001), *Fizicheskaja himija. V 2 kn. Kn. 2. Jelektrohimija. Himicheskaja kinetika i kataliz: Ucheb. dlja vuzov*, Vysshaja shkola, Moscow, Russian Federation.
7. Shao Guang-Cheng, Zhang Zhan-Yu, Liu Na, Yu Shuang-En, Xing Weng-Gang (2008), "Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial root-zone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot paper", *Scientia Horticulturae*, Vol. 119, pp. 11 – 16.
8. Analog Device, Jelektronnyj resurs, available at: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD736.pdf (Accessed at 10 February 2014).
9. Nerpin, S.V. and Chudnovskij, A.F. (1967), *Fizika pochv*, Nauka, Moscow, Russian Federation.
10. Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii (2006), *GOST 28268-89: Soils. Methods for determination of moisture, maximum hygroscopic moisture and moisture of steady plant fading*, Standartinform, Moscow, Russian Federation.
11. Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii (2011), *GOST 26423-85: Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract*, Standartinform, Moscow, Russian Federation.
12. Tartakovskij, D.F. and Jastrebov, A.S. (2001), *Metrologija, standartizacija i tehničeskie sredstva izmerenij. Uchebnik dlja vuzov*, Vysshaja shkola, Moscow, Russian Federation.

Надійшла до редакції:
31.03.2014

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

І.С. Лактіонов, О.В. Вовна

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Спосіб зменшення додаткової похибки вимірювача вологості ґрунту оранжерей ботанічного саду. Розроблено спосіб зменшення додаткової похибки засобу вимірювального контролю вологості ґрунту в умовах оранжерей ботанічного саду. Обґрунтовано методику компенсації дестабілізуючого впливу рН на результат вимірювання вологості ґрунту. В результаті лабораторних досліджень макетного зразка вимірювача встановлено його основні метрологічні характеристики: чутливість по вологості – 0,6 Ом·м/% в діапазоні зміни від 30 до 90 %; чутливість по рН – 7,3 Ом·м/од. в діапазоні зміни від 5 до 8 од.; абсолютне значення основної похибки вимірювання вологості, яка обумовлена шумовою складовою вимірюваного падіння напруги, склала $\pm 1,5$ %; абсолютне значення додаткової похибки вимірювання вологості, яку обумовлено дестабілізуючим впливом рН, склала $\pm 2,5$ %. Абсолютне значення сумарної похибки вимірювання вологості ґрунту, за умови компенсації

дестабілізуючого впливу рН, склало $\pm 2,9$ %, що не перевищує максимально допустимого значення міждержавного стандарту ± 5 %.

Ключові слова: спосіб, вимірювання, вологість, кислотність, похибка, ґрунт.

I.S. Laktionov, A.V. Vovna

Donetsk National Technical University

Method of reducing the soil moisture meter additional error for the botanical garden greenhouses. The range of the relative humidity varies 30 to 90 %; the temperature varies from 10 to 30 °C and the soil acidity varies from 5 to 9 units. A method of reducing the additional error of soil moisture measuring has been developed. The necessity of the account and compensation algorithm of the soil acidity destabilizing effect on the soil moisture meter's metrological characteristics in the botanical garden greenhouses has been substantiated. A technique of the transformation characteristics definition of the soil moisture meter has been developed. The basic metrological characteristics of the soil moisture meter prototype have been determined by laboratory studies: moisture sensitivity is equal 0.6 Ohm·m/% in the range from 30 to 90 %; pH sensitivity is equal 7.3 Ohm·m/unit in the range from 5 to 8 units; absolute value of the basic error of the moisture measurement, which is due to the noise component of the detected voltage drop is equal ± 1.5 %, the absolute value of the additional error of the moisture measurement, which is caused by the destabilizing pH influence is equal ± 2.5 %. A posterior information allowed to approximate the experimental data by the analytical function $W=f(p, pH)$ by regression analysis of the gradient descent method. Probabilistic characteristics of the experimental data approximation error have been calculated: the mathematical expectation is equal 5.4 % and the standard deviation is ± 0.4 %. The absolute value of the humidity total measurement error by conductometric method is ± 2.9 %. This value is obtained under the condition of the compensated destabilizing pH influence. The resulting value does not exceed the maximum permissible value of interstate standard, which is equal ± 5 %.

Keywords: method, measurement, moisture, acidity, error, soil.



Лактионов Иван Сергеевич, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, аспирант кафедры электронной техники ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – повышение точности и эффективности информационно-измерительных систем.



Вовна Александр Владимирович, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электронной техники. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование компьютеризированных информационно-измерительных систем аэрогазового контроля.