

алгоритм зворотного поширення помилок, логістична функція.

To study the processes of inductive-wire sensor was built and trained a multilayer neural network with a direct signal transmission and error backpropagation, which allows to detect the presence of mobile units in the control section of the railway track, as well as its

direction under the influence of various factors. The adequacy of the training procedure and the results show the error learning, and graphics that explain the quality of the training the neural network.

Keywords: neural network model, inductively-wire sensor, multi-layer network, back-propagation algorithm errors, logistic function.

УДК 621.317.33:621.351

ЛАКТИОНОВ И.С., аспирант (ДонНТУ)
ТУРУПАЛОВ В.В., к.т.н., профессор (ДонНТУ)

Разработка и исследование макетного образца измерителя влажности почвы

Laktionov I., graduate student (DonNTU)
Turupalov V., Ph.D., professor (DonNTU)

Development and research of the soil moisture meter model sample

Общая постановка проблемы исследований

Эффективное использование земель зависит от исследования их частных агро-экологических показателей: физических, химических и биологических. С целью разработки агротехнических приемов по озеленению участков городов и технологических объектов необходимо знать ряд показателей почвы, на которой они произрастают. Из четырех основных физических почвенных параметров (аэрация, влажность, механическое сопротивление, температура) влажность является наиболее важным [1]. 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. Следовательно, разработка и исследование средства измеритель-

ного контроля влажности почвы в полевых условиях принцип работы, которого основан на инструментальных методах анализа, является актуальной научно-технической задачей.

Постановка задачи исследования

Целью статьи является определение основных метрологических характеристик макетного образца средства измерительного контроля влажности почвы в полевых условиях. Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Разработать макетный образец измерителя влажности почвы.
2. Провести лабораторные испытания разработанного измерителя.
3. Установить характеристики преобразования измерителя влажности почвы и оценить его основные метрологические характеристики.

Результаты исследований

На основании анализа существующих методов и средств контроля влажности почвы, а также результатов предварительных исследований [2], методами математического моделирования получены следующие результаты:

– обоснован выбор метода контроля влажности почвы в полевых условиях. В основу принципа работы данного измерителя положен кондуктометрический метод анализа по средствам четырехэлектродной измерительной установки, состоящей из пары питающих (А и В) и пары измерительных (М и N) электродов (см. рис. 1).

– аналитическое выражение, которое устанавливает связь между детектируемым параметром – падением напряжения на измерительных электродах (U_{MN}) и определяемым информативным параметром – относительной влажностью почвы (W) с учетом влияния дестабилизирующих факторов – температуры (t), типа почвы и расстояния между питающими и измерительными электродами кондуктометрической ячейки.

– теоретические характеристики преобразования измерителя $U_{MN}=f(W,t)$ в пределах изменения относительной влажности почвы от 30 до 90 % и температуры от 10 до 30 °С (были установлены путем анализа литературных источников [1, 3, 4] с последующим уточнением статистических данных специалистами Донецкого ботанического сада НАН Украины). Полученный диапазон значений падения напряжения между измерительными электродами составил от 0,6 до 1,1 В при условии, что напряжение холостого хода источника сигнала равно 5 В.

На основании априорной информации, полученной методами математического моделирования, обоснована структура измерителя влажности почвы в полевых условиях и разработан его макетный образец. Обобщенная структурная схема разработанного макетного образца средства измерительного контроля представлена на рис. 1.

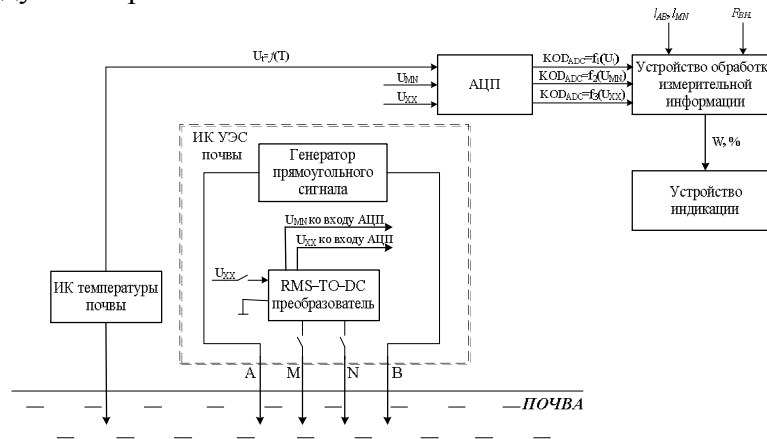


Рис. 1. Обобщенная структурная схема макетного образца измерителя влажности почвы

Макетный образец измерителя влажности почвы состоит из:

1. Источника напряжения со следующими техническими характеристиками:

– диапазон регулирования выходного напряжения источника сигнала: от 1 до 5 В. Экспериментальные исследования выполнялись на верхнем пределе изменения напряжения.

– внутреннее сопротивление источника: 200 Ом. Нестабильность величины внутреннего сопротивления источника составляет ±3 % при изменении сопротивления нагрузки от 50 Ом до 1 кОм.

– диапазон регулирования частоты сигнала: от 100 Гц до 100 кГц. Данный диапазон обусловлен тем, что на более низ-

ких частотах проявляется эффект поляризации электродов, а на более высоких: эффекты релаксационного и электрофоретического торможения, которые вызваны частотной зависимостью величины диэлектрической проницаемости жидкой фазы почвы [3].

– форма сигнала – двухполярные прямоугольные импульсы (меандр). Данная форма напряжения, генерируемого спроектированным источником сигнала, выбрана с целью минимизации дестабилизирующего влияния эффекта поляризации электродов [3].

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 [5] с целью уменьшения инструментальной погрешности измерителя, поскольку инструментальная погреш-

ность цифровых вольтметров в режиме измерения постоянного напряжения значительно ниже, чем переменного.

– цифровой вольтметр UnitUT71c с верхним пределом измерения 4 В, обеспечивающим погрешность измерения не более, чем $\pm(0,025\%+3)$.

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

С целью определения максимальной чувствительности измерителя влажности почвы были проведены исследования зависимости относительной чувствительности функции детектируемого падения напряжения (U_{MN}) от расстояния между питающими электродами (L_{AB}). Зависимость, представленная на рис. 2, была получена при следующих условиях: $W=60\%$; $t=20\text{ }^\circ\text{C}$; $L_{AB}=3 \cdot L_{MN}$ [3].

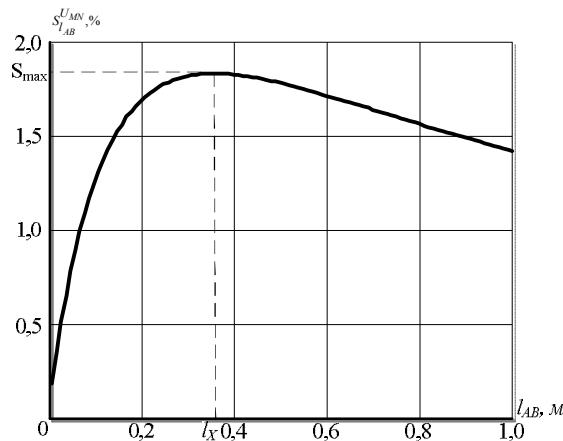


Рис. 2. Зависимость относительной чувствительности функции детектируемого падения напряжения от расстояния между питающими электродами

Анализ полученной зависимости, представленной на рис. 2, позволил определить значение расстояния между питающими электродами (L_{AB}), при котором наблюдается максимальная чувствительность исследуемой функции, составило 0,36 м. Следовательно, расстояние между измерительными электродами (L_{MN}), при котором

наблюдается максимум чувствительности функции, равно 0,12 м.

В ходе экспериментальных лабораторных исследований макетного образца средства измерительного контроля влажности почвы была установлена его характеристика преобразования. Данная характери-

стика 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 ($W_0=5,0\pm 0,3$ %) [6];

– путем добавления дистиллированной воды, известной массы, изменялась относительная влажность исследуемого образца почвы в диапазоне от 30 до 90 %. Дистиллированная вода вносилась с целью поддержания постоянства химического состава почвенного раствора для минимизации степени дестабилизирующего влияния природы почвенного раствора на точность измерения влажности почвы;

– при каждом изменении относительной влажности почвы, с шагом ΔW равным 10 %, выполнялся замер падения напряже-

ния между измерительными электродами кондуктометрической ячейки в течение 5 минут с интервалом времени Δt , равным 30 сек, с целью усреднения детектируемых значений падения напряжения;

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

Апостериорная информация, полученная в результате выполнения данного эксперимента, позволила построить характеристику преобразования измерителя по влажности, а также аппроксимировать ее аналитической функцией, общий вид которой был получен в работе [2]. Графический вид эмпирической зависимости и результат аппроксимации представлены на рис. 3.

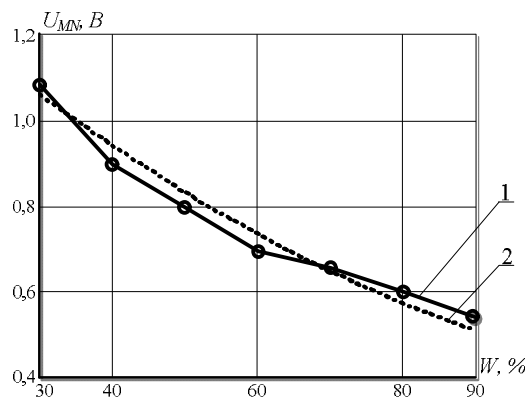


Рис. 3. Характеристика преобразования измерителя влажности почвы (1 – экспериментальные данные; 2 – результат аппроксимации)

Полученные экспериментальные данные были аппроксимированы путем регрессионного анализа функции на основании оптимизированного метода Левенберга-Маккарта. Функция аппроксимации имеет вид [2, 3]:

$$U_{MN} = \frac{K \cdot U_{XX} \cdot W^c \cdot l_{MN} \cdot e^{a+b \cdot t}}{R_{вн} \cdot l_{MN} + K \cdot W^c \cdot l_{AB} \cdot e^{a+b \cdot t}}, \quad (1)$$

где W – относительная влажность почвы, %; U_{MN} – падение напряжения между измерительными электродами (М и N), В; U_{XX} – напряжение холостого хода источника сигнала, В; $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление источника сигнала, Ом; l_{AB} – расстояние между питающими электродами, м; l_{MN} – расстояние между измерительными электродами, м; K – коэффициент установки, который зависит от взаимного расположе-

ния питающих и измерительных электродов, $1/m; t$ – температура почвы, °C; $a=12,29$; $b=-0,14$ и $c=-1,69$ – коэффициенты аппроксимации функции, которые характеризуют тип анализируемой почвы.

На основании анализа функциональных зависимостей, которые представлены на рис. 3, были определены: мат. ожидание – 8 мВ и среднеквадратичное отклонение (СКО) – 0,3 мВ погрешности аппроксимации в диапазоне изменения детектируемого падения напряжения от 0,55 до 1,05 В, что соответствует диапазону влажности – от 30 до 90 %.

Путем анализа характеристики преобразования измерителя (см. рис. 3) рассчитана его средняя чувствительность по влажности:

$$S_W = \frac{\Delta U_{MN}}{\Delta W} = \frac{1,06 - 0,51}{90 - 30} = 9 \text{ мВ/\%}. \quad (2)$$

Абсолютное значение мат. ожидания погрешности аппроксимации экспериментальных данных, в пересчете на единицы измерения влажности почвы с учетом средней чувствительности измерителя (2), определено на основании следующей формулы:

$$\Delta_{m_W} = \frac{m_u}{S_W} = \frac{8}{9} = 0,9 \text{ \%},$$

что в относительных единицах погрешности аппроксимации находится в диапазоне изменения от 3 % (при $W_{\min}=30$ %) до 1 % (при $W_{\max}=90$ %).

В ходе проведения лабораторных исследований макетного образца измерителя влажности почвы установлено амплитудное значения шумовой составляющей детектируемого падения напряжения. Полученное действующее значение $U_{ш}$ не превышает ± 18 мВ, что с доверительной вероятностью ($P=0,95$) соответствует среднеквадратичному значению ± 9 мВ. На основании полученных значений коэффициента чувствительности (2) и шумовой составляющей детектируемого падения напряжения на измерительных электродах определена ос-

новная абсолютная погрешность измерителя влажности почвы:

$$\Delta_W = \frac{U_{ш}}{S_W} = \frac{\pm 9}{9} = \pm 1 \text{ \%},$$

что в пересчете в относительную величину погрешности измерения влажности почвы соответствует диапазону изменения δ_W от 3 % (при $W_{\min}=30$ %) до 1 % (при $W_{\max}=90$ %).

Абсолютное значение основной погрешности измерения влажности почвы с учетом погрешности аппроксимации определяется по формуле [7]:

$$\Delta_{\Sigma}^W = \sqrt{\Delta_W^2 + \Delta_{m_W}^2} = 1,4 \text{ \%},$$

из которого следует, что полученное значение основной абсолютной погрешности, равное 1,4 %, не превышает максимально допустимого значения, которое указано в нормативной документации [6] – 5 %. На основании значения основной абсолютной погрешности рассчитана предельная основная относительная погрешность измерения влажности почвы, которая составила 4,7 % в диапазоне изменения влагосодержания от 30 до 90 %.

Выводы

1. Разработан и исследован макетный образец средства измерительного контроля влажности почвы.

2. В результате экспериментальных исследований макетного образца измерителя влажности почвы установлены следующие его технические и метрологические характеристики:

– расстояния между питающими и измерительными электродами, при которых обеспечивается максимальная чувствительность измерителя, соответственно, равны 0,36 м и 0,12 м.

– чувствительность измерителя по влажности составила 9 мВ/% в диапазоне изменения от 30 до 90 % при температуре почвы равной 20 °C.

– амплитудное значение шумовой составляющей детектируемого падения напряжения равно ± 18 мВ, которое с доверительной вероятностью $P=0,95$ соответствует среднеквадратичному значению ± 9 мВ, что обуславливает основную погрешность измерения, равную в абсолютных величинах ± 1 % в диапазоне изменения влажности почвы от 30 до 90 %.

– предельное значение относительной погрешности аппроксимации экспериментальных данных составило 3 % в диапазоне изменения влажности почвы от 30 до 90 %.

– максимальное значение основной абсолютной погрешности измерения влажности почвы с учетом погрешности аппроксимации экспериментальных данных в полевых условиях – 1,4 %, что не превышает максимально допустимого значения – 5 %.

3. Разработанный макетный образец обеспечивает основную погрешность измерения в 3,5 раза меньше максимально допустимого значения.

Список литературы:

1. Kirkham M.B. Principles of soil and plant water relations/ M.B. Kirkham. – San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. – 519 p.
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. Поздняков А.И. Электрофизические свойства некоторых почв/ А.И. Поздняков, Ч.Г. Гюлалыев. – Москва-Баку: Адильоглы, 2004. – 240 с.
4. 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//ScientiaHorticulturae. – Elsevier, 2008. – Vol. 119. – p. 11 – 16.

5. 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.

6. 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.

7. Селиванов М.Н. Качество измерений: Метрологическая справочная книга/ М.Н. Селиванов, А.Э. Фридман, Ж.Ф. Кудряшова. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.

Spisok literatury:

1. Kirkham M.B. Principles of soil and plant water relations/ M.B. Kirkham. – San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. – 519 p.
2. Vovna A.V. Matematicheskaya model kompyuterizirovannoy sistemy izmeritelnogo kontrolya vlazhnosti pochvyi/ A.V. Vovna, I.S. Laktionov// Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehchnogo universitetu. Seriya: «Obchislyuvalna tehnika ta avtomatizatsiya». – Donetsk, 2013. – Vypusk 2 (25). – s. 197 – 206.
3. Pozdnyakov A.I. Elektrofizicheskie svoystva nekotoryih pochv/ A.I. Pozdnyakov, Ch.G. Gyulalyiev. – Moskva-Baku: Adiloglyi, 2004. – 240 s.
4. 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// ScientiaHorticulturae. – Elsevier, 2008. – Vol. 119. – p. 11 – 16.
5. Analog Device [Elektronnyy resurs]. – Elektronnyie dannye. – Rezhim dostupa: <http://www.analog.com/static/imported->

[files/data_sheets/AD736.pdf](#) – Data dostupa: fevral 2014. – Zagl. sekрана.

6. Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimalnoy gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustoychivogo zavvyadaniya rasteniy: Mezghosudarstvennyy standart GOST 28268-89. – [Deystvuyuschiy ot 2006-01-23]. – M.: Standartinform, 2006. – 8 s.

7. Selivanov M.N. Kachestvoizmereniy: Metrologicheskaya spravoch'naya kniga/ M.N. Selivanov, A.E. Fridman, Zh.F. Kudryashova. – L.: Lenizdat, 1987. – 295 s.

Аннотации:

Розроблено та досліджено макетний зразок засобу вимірювального контролю вологості ґрунту. В результаті експериментальних досліджень вимірювача встановлено його основні метрологічні характеристики: чутливість по вологості, рівень власних шумів вимірювача, похибка апроксимації

експериментальних даних та значення основної абсолютної похибки.

Ключові слова: вологість, чутливість, макетний зразок, вимірювач, точність.

Разработан и исследован макетный образец средства измерительного контроля влажности почвы. В результате экспериментальных исследований измерителя установлены его основные метрологические характеристики: чувствительность по влажности, уровень собственных шумов измерителя, погрешность аппроксимации экспериментальных данных и значение основной абсолютной погрешности

Ключевые слова: влажность, чувствительность, макетный образец, измеритель, точность.

The model sample of the soil moisture meter has been designed and investigated. The following metrological characteristics: sensitivity to the moisture, the noise level of the meter, the error of the experimental data approximation and maximum value of the relative error have been calculated, which were based on the laboratory experimental studies.

Keywords: humidity, sensitivity, model sample, meter, accuracy.

УДК 621.371.3

ШРАМКО Н.А., магістр (ДонНТУ)
МОЛОКОВСЬКИЙ І.О., к.т.н. (ДонНТУ)
ШЕБАНОВА Л.О., к.т.н., доцент (ДонНТУ)

Моделювання впливу перешкод при розповсюдженні радіохвиль в умовах обмеженого простору

Shramko N.A., master (DonNTU)
Molokovskiy I.O., Cand. of Eng. Sc. (DonNTU)
Shebanova L.A., Cand. of Eng. Sc., Associated Professor (DonNTU)

Simulation of influence interference for propagation of radio waves in confined spaces

Вступ

Робота систем радіозв'язку у шахтах, тунелях та інших підземних спорудах відрізняється рядом особливостей:

– сильні загасання радіохвиль в гірських породах, що залежать від типу породи, її вологості, частоти радіосигналу та його електромагнітного поля;