

УДК 625.85.002.237

*МАТУА ВАХТАНГ ПАРМЕНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
vpmatua@mail.ru*

*МИРОНЧУК СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, канд. техн. наук,  
ст. преподаватель,  
sergeimironchuk@gmail.ru*

*ИСАЕВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ, аспирант,  
evgenyisaev91@mail.ru*

*Академия строительства и архитектуры  
Донского государственного технического университета,  
344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА WATERSCOUT SM100 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

В статье рассмотрены способы определения влажности грунта. Авторами изучается возможность применения датчиков частотно-диэлектрического типа для измерения влажности грунта земляного полотна. Проведены испытания датчика влажности в различных условиях. Дана оценка влияния внешней среды на надежность и долговечность. На основе проведенных испытаний сделан вывод о возможности использования датчика влажности при экспериментальных исследованиях.

**Ключевые слова:** грунт; земляное полотно; мониторинг влажности в условиях эксплуатации дороги; датчики влажности.

*VAHTANG P. MATUA, DSc, Professor,  
vpmatua@mail.ru*

*SERGEY A. MIRONCHUK, PhD, Senior Lecturer,  
sergeimironchuk@gmail.ru*

*EVGENY N. ISAEV, Research Assistant,  
evgenyisaev91@mail.ru*

*Academy of Construction and Architecture DSTU,  
162, Sotsialisticheskaya Str., 344022, Rostov-On-Don, Russia*

### **APPLICATION OF WATERSCOUT SM100 SENSOR FOR SOIL MOISTURE MONITORING**

The paper presents methods for soil moisture determination. The possibility of using frequency-dielectric type sensors is studied to measure the moisture content in the subgrade soils. The soil moisture sensor is tested under various conditions. The assessment of environmental impact is given in relation to reliability and durability. Based on the tests, it can be concluded that the this type of sensor can be used for these purposes.

**Keywords:** soil; subgrade; moisture monitoring; soil moisture sensors.

Важным фактором, оказывающим существенное влияние на эксплуатационное состояние автомобильной дороги, является ее температурно-влажностный режим. Повышенная влажность грунта земляного полотна снижает его

прочностные и деформационные характеристики и существенно изменяет его реологические и физико-механические свойства, что в значительной степени влияет на работоспособность всей дорожной конструкции. При влажности грунта, близкой к границе текучести, происходит резкое, «провальное» снижение его прочностных и деформационных характеристик.

Изменение температурно-влажностного режима в конструкциях дорожной одежды носит сезонный характер. Сезонные параметры температурно-влажностного режима можно считать определенными только для слоев дорожной конструкции, особенностей местности и расположения конкретного участка дороги.

В настоящее время при проектировании нежестких дорожных одежд по ОДН 218.046-01 используют расчетную влажность грунта земляного полотна, которую определяют по эмпирическим или теоретическим зависимостям. Ввиду недоучета особенностей геокомплексов при использовании таких зависимостей при вычислении значений расчетной влажности могут возникать погрешности, которые влияют на принимаемый модуль упругости грунта земляного полотна. В связи с этим необходимо уточнение максимальных и минимальных значений влажности в расчетный период для различных климатических условий. Наиболее эффективными такие исследования видятся с использованием специальных датчиков, способных регистрировать изменения влажности в грунте земляного полотна.

Существующие методы можно условно разделить на варианты определения влажности материала прямого и косвенного характера. При применении прямого способа используется разделение влажного материала непосредственно на имеющуюся в нем влагу и сухие составляющие.

Прямые методы определения влажности материала: способ высушивания, ускоренный способ высушивания, экстракционный метод, химический метод [1, 2].

С помощью косвенного метода определяют значение параметра, которое функциональным образом связано с имеющейся влажностью исследуемого материала. Применение косвенных методов нуждается в проведении предварительной калибровки, необходимой для установления зависимости между значениями влажности материала и значением определяемого параметра. К косвенным методам можно отнести следующие: пикнометрический метод, механический метод, диэлькометрический метод [1–5]. В дорожном строительстве влажность грунта, как правило, определяют методом высушивания образцов до постоянной массы. При этом наблюдения за сезонными колебаниями влажности под дорожной одеждой затруднены. Поэтому в предлагаемой статье рассмотрена возможность применения датчиков влажности частотно-диэлькометрического типа для измерения влажности грунта земляного полотна. В реальных условиях эксплуатации дорожной конструкции подобные устройства ранее не применяли.

Частотный диэлькометрический (FD) датчик – это инструмент, разработанный для измерения содержания влаги, имеющий колебательный контур, в цепь которого включена чувствительная часть датчика, помещенная в исследуемую среду. Рабочая частота контура является функцией диэлектриче-

ской проницаемости материала (среды) [6]. В настоящее время существует много датчиков определения влажности, основанных на диэлькометрическом методе, которые преимущественно используют в сельском хозяйстве и измеряют объемную влажность, а не весовую, что отражено в нормативных документах дорожной отрасли (рис. 1).



Рис. 1. Диэлькометрические датчики влажности

С целью обоснования возможности применения результатов измерений, полученных с помощью диэлькометрических датчиков, и дальнейшего их использования в дорожной отрасли в ДорТрансНИИ Донского государственного технического университета были проведены исследования, устанавливающие зависимости между показаниями датчика и весовой влажностью.

Для эксперимента был выбран датчик измерения влажности почвы WaterScout SM100 [7] (рис. 1).

Технические характеристики датчика:

- точность – 3 %;
- разрешение – 0,1 % VWC;
- частота – 80 МГц;
- диапазон измеряемой влажности – от 0 до 100 %;
- диапазон измеряемой электропроводности – от 0 до 8 мСм/см;
- температура – от 0,5 до 80 °С.

Такой датчик наиболее удобен для проведения опытных замеров в лабораторных условиях, а также для использования в грунте земляного полотна. Датчик емкостного типа состоит из двух электродов, окружающая почва служит диэлектриком. По результатам измерения емкости конденсатора, пропорциональной диэлектрической проницаемости почвы, осуществляется расчет объемного содержания влаги.

С целью исследования возможности применения данного датчика для мониторинга влажности грунта земляного полотна в реальных условиях эксплуатации дороги были проведены следующие испытания:

- оценка однородности показаний во времени;
- определение показаний при разных температурах;
- на надежность и долговечность в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации;
- определение показаний при различной плотности грунтов.

Испытания проводились в лабораторных условиях с помощью заводского устройства считывания данных (рис. 2).

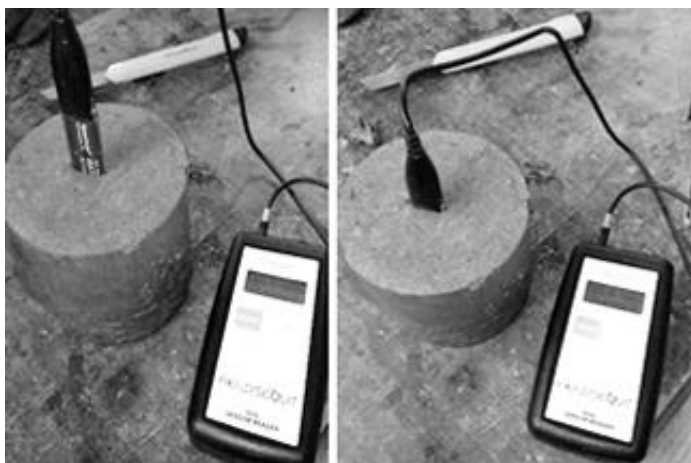


Рис. 2. Датчик влажности в образце грунта, подключенный к считывающему устройству

Измерительная часть датчика имеет определенную область чувствительности. Для определения минимальных размеров этой области были проведены испытания датчика с различными размерами образцов. Испытания проводились на сформованных образцах из грунта диаметрами 10 и 20 см одинаковой плотности и влажности. Так как диаметр образца не повлиял на показания датчика, дальнейшие образцы формовали диаметром 10 см. При испытании применялся грунт – суглинок легкий пылеватый с числом пластичности  $I = 11$ <sup>1</sup>.

Для испытания датчика на однородность считывания показаний влажности во времени были приготовлены образцы из грунта при заданной влажности и плотности (рис. 2).

После этого образцы покрывались тонким слоем парафина для минимизации потери влажности. Испытание проводилось в течение 24 ч с периодическими считываниями данных с устройства.

Диапазон изменения показаний составил от 16,6 до 16,7 % (рис. 3). Анализ результатов показал, что вариация значений показаний датчика влажности существенным образом не влияет на точность измерений.

<sup>1</sup> ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация.

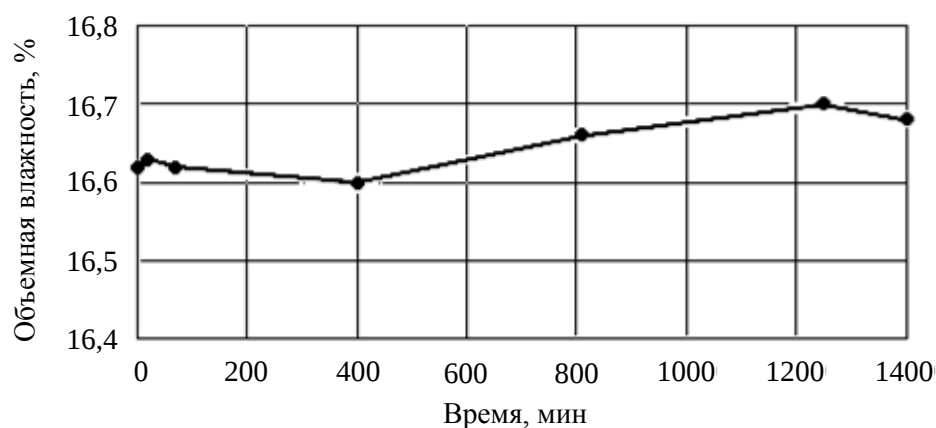


Рис. 3. Изменение значений влажности грунта по показаниям датчика во времени

Для изучения влияния температурных факторов на выходные значения датчика влажности было проведено два эксперимента:

- определение зависимости влияния температуры на значения показателя датчика влажности в воздушной среде при температуре от  $-15$  до  $+50$  °С;
- измерение колебаний значений датчика в образце грунта, сформованного при оптимальной влажности, при варьировании температуры от  $-15$  до  $+24$  °С.

В первом эксперименте исследован температурный дрейф датчика, исключая влияние других внешних факторов.

Эксперимент проводился следующим образом. Датчик в морозильной камере постепенно охлаждали до температуры  $-15$  °С и измеряли показания на воздухе. Затем нагревали до  $+50$  °С и также измеряли показания датчика в воздухе. Результаты испытания приведены на рис. 4.

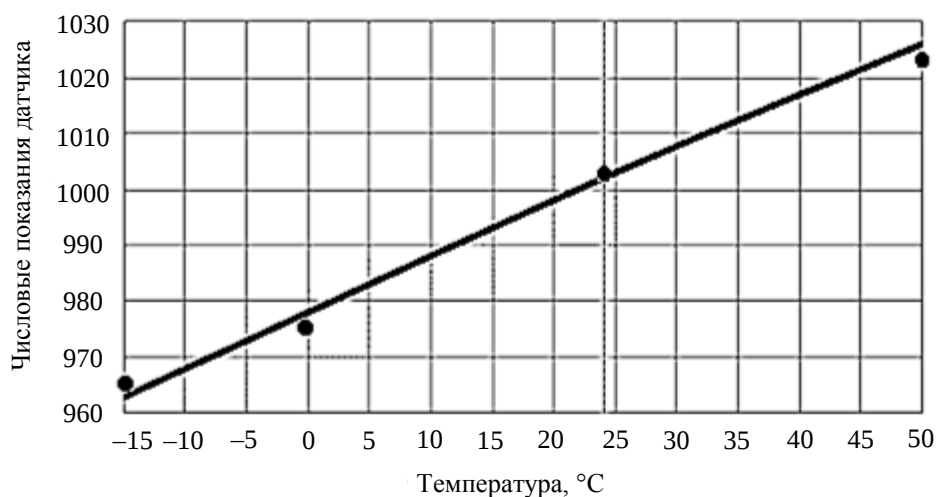


Рис. 4. Изменение значений влажности грунта по данным датчика при разной температуре

Анализ приведенных на рис. 4 результатов измерений показывает, что температура существенно влияет на показания датчика. Так, при калибровке датчика влажности при температуре 24 °С температурный дрейф значений составляет одно значение на 1 °С.

Для второго эксперимента в лаборатории был приготовлен образец из грунта определенной влажности и плотности. Во избежание потери влажности грунтовый образец покрывали тонким слоем парафина и датчиком измеряли показания в образце при температуре 24 °С. Затем грунтовый образец с датчиком охлаждали в морозильной камере до –15 °С и также измеряли показания в образце. Результаты лабораторных испытаний приведены на рис. 5.

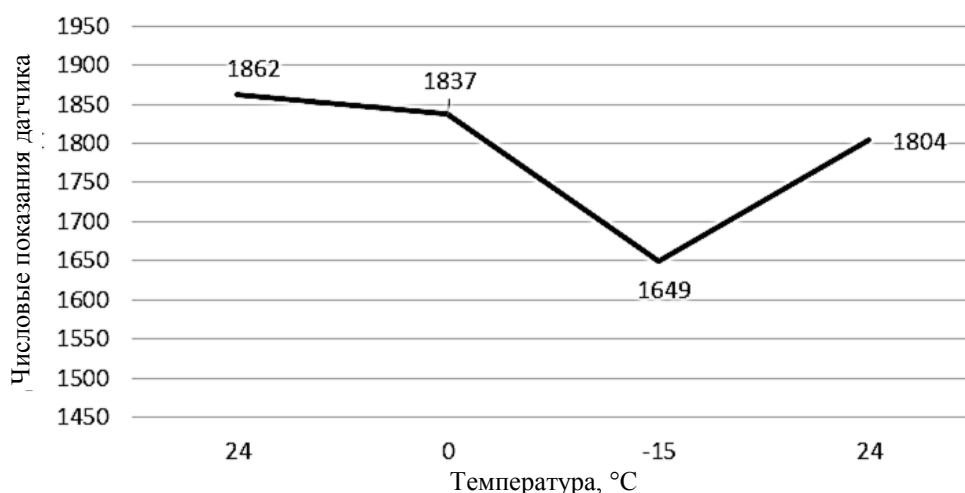


Рис. 5. Изменение значений показаний датчика в грунте при его замораживании и оттаивании

Анализ приведенных на рис. 5 данных показывает, что при замораживании грунта с датчиком до –15 °С значения показаний изменились на 213 значений. При этом после перехода через «0» наблюдается резкое падение значений, вызванное тем, что вода в грунте превратилась в лед. При оттаивании грунта при комнатной температуре значения показателей датчика не восстановились до первоначальных значений, что можно объяснить разуплотнением образца.

Анализ полученных сведений говорит о способности работы датчика влажности и при отрицательных температурах грунтового массива.

Для испытания датчика на надежность и долговечность приготовленные образцы из грунта со встроенным датчиком в течение 30 дней подвергались избыточному увлажнению и попеременному замораживанию-оттаиванию (рис. 6).

Для исследования влияния плотности грунта на показания датчиков влажности и установления взаимосвязи между цифровыми значениями датчика и весовой влажностью была приготовлена серия образцов с различной плотностью.

Для примера на рис. 7 представлен график калибровки датчика влажности на образцах из грунта плотностью, равной  $K_y = 0,98$ , при комнатной температуре 24 °С.



Рис. 6. Условия испытания датчика влажности

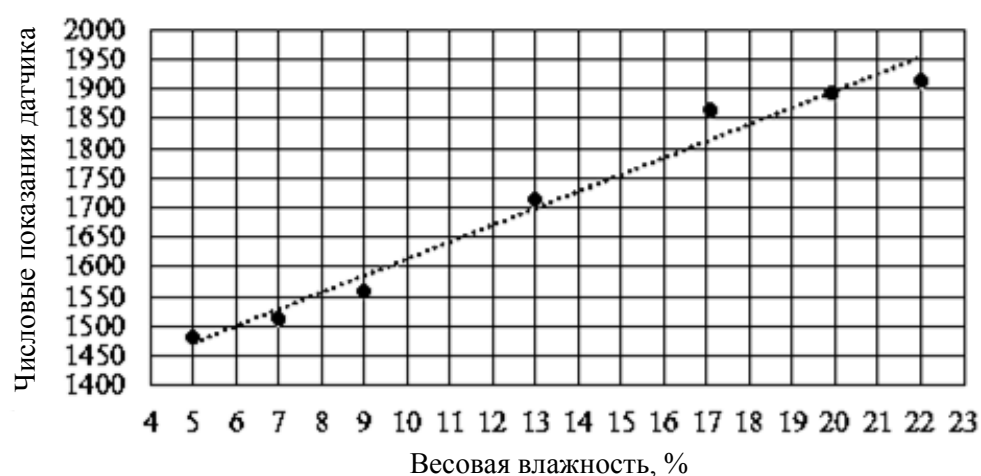


Рис. 7. Зависимость числовых показаний датчика и весовой влажности

Разброс значений датчика влажности при калибровке позволяет получать данные о весовой влажности с погрешностью не более  $\pm 2\%$ .

В результате проведенных исследований было выявлено:

- вариация значений показаний датчика влажности существенным образом не влияет на точность измерений;
- при использовании диэлькометрического датчика влажности необходимо учитывать изменение температуры;
- датчик влажности способен выдерживать реальные условия эксплуатации автомобильных дорог, в том числе при отрицательных температурах;
- при использовании диэлькометрического датчика влажности в грунте земляного полотна необходим учет коэффициента уплотнения грунта.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о возможности использования датчика влажности WaterScout SM100 для длительного мониторинга влажности грунта земляного полотна в реальных условиях эксплуатации автомобильных дорог.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефименко, В.Н. Назначение расчётной влажности глинистых грунтов земляного полотна для проектирования дорожных одежд на территории Западной Сибири / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.Д. Бердников // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 1. – С. 160–169.
2. Берлинер, М.А. Измерения влажности / М.А. Берлинер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1973.
3. Ананьев, И.П. Автогенераторные измерительные преобразователи двухкомпонентной диэлектрической влажности сельскохозяйственных материалов : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – СПб., 2009. – 48 с.
4. Никифоров, В.Е. Повышение эффективности контроля влажности в производстве фуражного зерна / В.Е. Никифоров // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 1. – С. 75–76.
5. Болотов, А.Г. Применение автогенераторного преобразователя при измерении влажности почвы / А.Г. Болотов, С.В. Макарычев // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. (3–4 февраля 2011 г.): в 3 кн. – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2011. – Кн. 2. – С. 36–38.
6. Чудинова, С.М. Применение метода рефлектометрии во временной области для определения влажности почв / С.М. Чудинова, А.А. Понизовский, Р.А. Щербakov // Почвоведение. – 1996. – № 10. – С. 1267–1270.
7. WaterScout SM100 soil moisture sensor. Product manual. – Условия доступа : [http://www.specmeters.com/assets/1/22/6460\\_SM1002.pdf](http://www.specmeters.com/assets/1/22/6460_SM1002.pdf)

#### REFERENCES

1. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Berdnikov A.D. Naznachenie raschetnoy vlazhnosti glinistykh gruntov zemlyanogo polotna dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd na territorii Zapadnoy Sibiri [Estimated moisture of clayey subgrade soils in pavement design in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 1. Pp. 160–169. (rus)
2. Berliner M.A. Izmereniya vlazhnosti [Moisture measurements]. Moscow: Energiya Publ., 1973 (rus)
3. Anan'ev I.P. Avtogeneratednyye izmeritel'nye preobrazovateli dvukhkomponentnoy dielektricheskoy vlazhnosti sel'skokhozyaystvennykh materialov: avtoref. dis. ... dok. tekhn. nauk [Self-maintained detector mounts of two-component dielectric of agricultural materials. DSc Abstract]. St-Petersburg, 2009. 48 p. (rus)
4. Nikiforov V.E. Povyshenie effektivnosti kontrolya vlazhnosti v proizvodstve furazhnogo zerna [Efficiency improvement of moisture control in forage grain production]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2011. No. 1. Pp. 75–76. (rus)
5. Bolotov A.G., Makarychev S.V. Primenenie avtogeneratednogo preobrazovatelya pri izmerenii vlazhnosti pochvy [Self-maintained detector mount for measuring soil moisture]. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. 'Agrarian Science to Agriculture'*. 2011. No. 2. Pp. 36–38. (rus)
6. Chudinova S.M., Ponizovskiy A.A., Shcherbakov R.A. Primenenie metoda reflektometrii vo vremennoy oblasti dlya opredeleniya vlazhnosti pochv [Reflectometry method for determination of soil moisture]. *Pochvovedeni*. 1996. No. 10. Pp. 1267–1270. (rus)
7. WaterScout SM100 soil moisture sensor. Product manual. Available at: [www.specmeters.com/assets/1/22/6460\\_SM1002.pdf](http://www.specmeters.com/assets/1/22/6460_SM1002.pdf)