

## Апробация датчика «Waterscout SM 100» для мониторинга влажности грунта земляного полотна в реальных условиях эксплуатации дороги

*В.П. Матуа, С.А. Мирончук, Е.Н. Исаев*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В данной статье проведена апробация датчика влажности Waterscout SM 100 в реальных условиях эксплуатации автомобильной дороги. Авторами разработана защитная конструкция датчиков влажности, соответствующая требованиям для их закладки в земляное полотно, разработан мобильный переносной считыватель данных. Представлена технология калибровки, тарировки и закладки датчиков в грунт земляного полотна. Проведен анализ данных полученных после тарировки датчиков.

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

Важным фактором, оказывающим существенное влияние на эксплуатационное состояние автомобильной дороги, является ее температурно-влажностной режим. Постоянный-непрерывный мониторинг сезонных параметров температурно-влажностного режима дорожной конструкции позволит уточнить ее работоспособность в реальных условиях эксплуатации, а также откорректировать расчетные формулы с учетом особенностей местности и расположения конкретного участка дороги [1-3].

В настоящее время при проектировании нежестких дорожных одежд по ОДН 218.046-01 (приложение 2) используют расчетную влажность грунта земляного полотна, которая рассчитывается по эмпирической зависимости. Ввиду ее обобщенности для различных условий и дорожных одежд при вычислении значений расчетной влажности могут возникать погрешности, которые влияют на принимаемый расчетный модуль упругости грунта земляного полотна. В связи с этим необходимо уточнение максимальных и минимальных значений влажностей в расчетный период для различных климатических условий. Наиболее эффективными такие исследования видятся с использованием специальных датчиков, способных в

---

автоматическом режиме регистрировать изменения влажности в грунте земляного полотна с заданной периодичностью [4-7].

На основании ранее проведенных лабораторных исследований в ДорТрансНИИ Донского государственного технического университета сделан вывод о возможности использования датчика влажности «Waterscout SM100» для долговременного мониторинга влажности грунта земляного полотна в реальных условиях эксплуатации автомобильной дороги [8,9].

В связи с выше изложенным следующим этапом исследований является разработка методики закладки датчиков в дорожную конструкцию и технологии их калибровки и тарировки. Для апробации датчиков влажности в реальных условиях эксплуатации автомобильной дороги выбраны несколько участков автомагистрали М-11, находящийся в Московской и Тверской областях. Данные участки относятся к II ДКЗ и характеризуются разным типам местности по условиям увлажнения.

С учетом гидро-геологических условий района строительства для устройства земляного полотна использовался песок с  $K_{\phi} > 1$  м/сут.

Для обеспечения бесперебойной работы в земляном полотне в течение длительного срока конструкция датчиков влажности и соединяющих кабелей должна соответствовать следующим требованиям:

- работоспособность в тяжелых условиях эксплуатации (ударное воздействие автотранспорта, вибрация, сезонное колебание температуры в широком диапазоне, влажность);
- обеспечение возможности монтажа датчиков параллельно с возведением земляного полотна без нарушения технологии строительства;
- оказание минимального влияния на НДС дорожной конструкции;

С учетом перечисленных требований в ДорТрансНИИ ДГТУ, авторами данной статьи была разработана и изготовлена защитная конструкция, которая обеспечивает сохранность и работоспособность датчиков влажности

---

в условиях повышенных нагрузок и не влияет на точность показаний (рисунок 1).



Рис. 1. – Защитная конструкция датчика влажности

Рабочий слой земляного полотна наиболее восприимчив к нагрузкам и колебаниям водно-теплового режима и вносит большой вклад в долговечность дорожной конструкции. Поэтому датчики влажности следует располагать в рабочий слой земляного полотна.

На экспериментальных участках дороги, с целью осреднения значений и обеспечения дублирования информации на случай выхода из строя неремонтопригодных элементов, устанавливались четыре датчика влажности. Два из них предназначены для замера влажности на поверхности земляного полотна, а два других на нижней границе рабочего слоя. Датчики в плане закладывались на правой полосе наката крайней правой полосы движения, наиболее подверженном накоплению остаточных деформаций (рисунок 2).

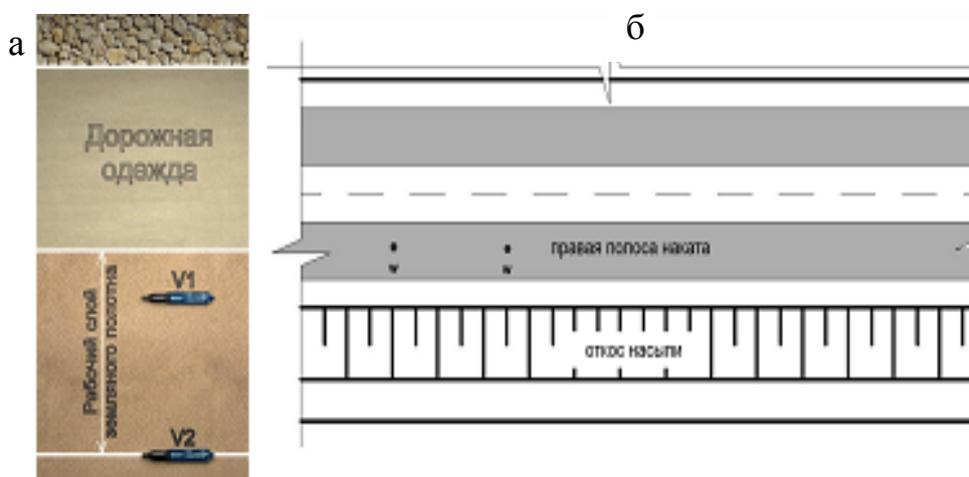


Рисунок 2 - Расположение датчиков: а) в профиле; б) в плане

На основании ранее проведенных исследований [9] установлено, что на показания датчиков кроме влажности грунта влияют также: тип грунта, плотность и его температура.

Для эффективной работы датчиков влажности точность их измерений должна быть в пределах  $\pm 2$  % от массовой влажности грунта.

Для обеспечения требуемой точности измерений разработана методика тарировки датчиков с учетом конкретных условий местности и типа грунта. Перед закладкой датчиков в земляное полотно отбиралась проба грунта для определения его физико-механических свойств (тип грунта, максимальная плотность, оптимальная влажность). После этого производилась пробная укатка в месте закладки датчиков влажности с целью определения количества проходов катка для достижения нормативного коэффициента уплотнения. Также производился замер температуры окружающего воздуха и грунта в месте проведения тарировки, маркировка и нумерация датчиков влажности.

Для считывания измерений с датчика влажности был разработан мобильный переносной считыватель данных (рисунок 3).



Рис. 3. – Опрос значений датчиков влажности мобильным переносным считывателем данных

Разработанная методика тарировки датчиков влажности состоит из следующих операций (рисунок 4):

- рытье 4-х траншей шириной 30-40см;
- очистка и предварительное уплотнения основания траншей;

- укладка в траншеи датчиков влажности и вывод соединяющих кабелей на обочину;
- отбор пробы грунта для определения влажности при нулевом цикле тарировки (4 пробы непосредственно около датчиков);
- засыпка траншей грунтом и уплотнение мест закладки датчиков уплотняющей техникой;
- опрос значений датчиков и запись значений нулевого цикла в ведомость тарировки (рисунок 3);
- увлажнение места закладки датчиков и ожидание пропитки водой массива грунта около датчика;
- снятие показаний 1 цикла тарировки;
- отбор проб грунта для оценки его влажности и плотности методом режущего кольца (по 2 кольца на каждый датчик влажности) (рисунок 5).

Последовательность операций тарировки повторялась до доведения 4-5 циклов тарировки.



Рис. 4. – Тарировка датчиков влажности

Чувствительный элемент датчика устанавливался перпендикулярно поверхности рабочего слоя (рисунок 4). Такая установка необходима из следующих требований:

- для равномерного замера влажности сверху и снизу датчика;
- для обеспечения безопасности чувствительного элемента при уплотнении грунта.



Рис. 5. – Увлажнение мест закладки датчика и отбор проб грунта для определения его влажности и плотности

По результатам тарировки был построен график зависимости цифрового значения датчика влажности от весовой влажности полученной с пробы грунта (рисунок 6).

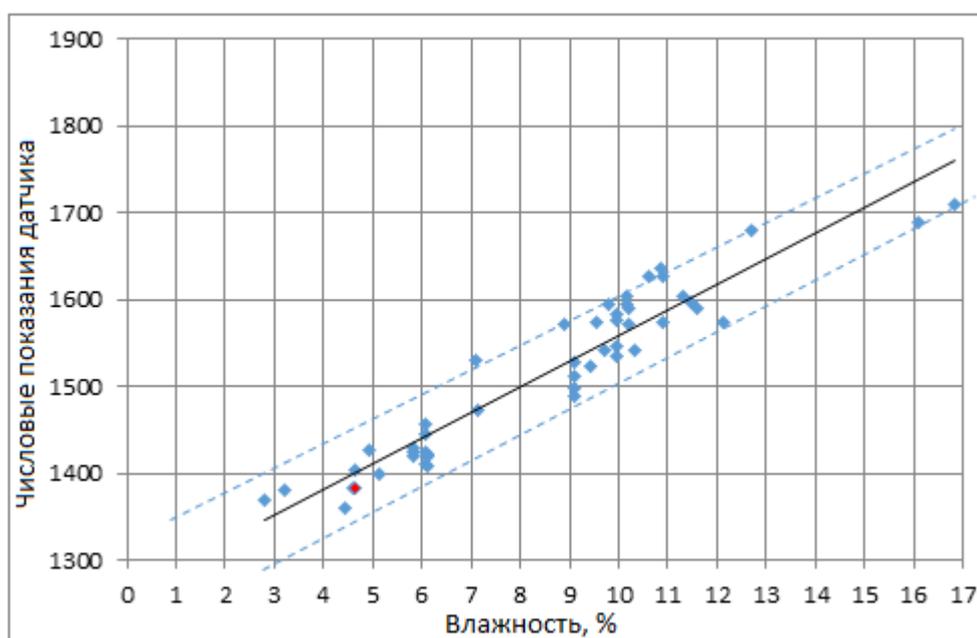


Рис. 6. – Зависимость числовых показаний датчика и весовой влажности

Анализ приведенных данных на рисунке 6 показывает, что значения числовых показаний датчика и весовой влажности находятся в интервале, погрешность которого не превышает  $\pm 2\%$ .

Установка датчиков в проектное положение происходила в той же последовательности, что и тарировка, для сохранности кабелей в дороге проведена герметизация выводов (рисунок 7).



Рис. 7 – Установка датчиков в проектное положение

Датчики влажности, заложенные в грунт земляного полотна на экспериментальных участках дороги, в настоящее время удачно функционируют. Подготавливаются технологические решения по разработке системы автоматизированного дистанционного мониторинга влажности.

Полученные данные с датчиков влажности необходимы для уточнения максимальных и минимальных значений влажностей в расчетный период года для различных климатических условий и могут быть использованы в качестве исходных данных для прогнозирования накопления остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций под воздействием реальных динамических нагрузок и погодно-климатических факторов [10].

### Литература

1. Чмшкян А.В. Совершенствование методов расчета просадочных деформаций // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256)
2. Леонович И.И., Вырко Н.П. Водно-тепловой режим земляного полотна / Учебное электронное издание. — Минск: БНТУ, 2013. - 332 с
3. Zhang J., Jiang Q., Zhang Y., Dai L., Wu H. Nondestructive measurement of water content and moisture migration of unsaturated red clays in South China. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2015; 1:1–7. doi: 10.1155/2015/542538



4. Жлобова О.А. Перспектива развития дистанционных методов измерительного контроля качества строительной продукции // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1892](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1892).

5. Берлинер М.А. Измерения влажности // Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973 – С. 26-32.

6. Ананьев И.П. Автогенераторные измерительные преобразователи двухкомпонентной диэлькометрии сельскохозяйственных материалов: автореф. дис. Док. техн. наук. — СПб., 2009. — 48 с.

7. Никифоров В.Е. Повышение эффективности контроля влажности в производстве фуражного зерна // Достижения науки и техники АПК. — 2011. — № 1. — С. 75-76.

8. F. Masrouri, K. V. Bicalho, and K. Kawai, “Laboratory hydraulic testing in unsaturated soils,” *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 691–704, 2008.

9. Матуа В.П., Мирончук С.А., Исаев Е.Н. Применение датчика WaterScout для мониторинга влажности грунта земляного полотна / Вестник ТГАСУ. – 2017. - №5. – С. 192 – 199.

10. Матуа В.П., Чирва Д.В., Исаев Е.Н. Методика исследования связных грунтов на накопление остаточных деформаций / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. - №3 (56). - С. 186 – 194.

### References

1. Chmshkyan A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1256).

2. Leonovich, I.I., Vyrko N.P. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna [Water-thermal regime of the road bed]., Uchebnoe elektronnoe izdanie. Minsk: BNTU, 2013. 332 p.



3. Zhang J., Jiang Q., Zhang Y., Dai L., Wu H. nondestructive measurement of water content and moisture migration of unsaturated red clays in south china. *adv. mater. sci. eng.* 2015; 1:1–7. doi: 10.1155/2015/542538
4. Zhlobova O.A. *Inzhenernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3u2013/1892](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3u2013/1892).
5. Berliner M.A. *Izmereniya vlazhnosti [Change in humidity]*. Izd. 2-e. *pererab. i dop. M. «Energiya»*, 1973. pp. 26-32.
6. Anan'ev I.P. *Avtogeneratorye izmeritelnye preobrazovateli dvukomponentnoj dielkometrii selskoxozyajstvennyx materialov [Autogenerating measuring converters of two-component dielcometer of agricultural materials]*. *Avtoref. dis. dok. texn. nauk. SPb.*, 2009. 48 p.
7. Nikiforov V.E. *Dostizheniya nauki i tekhniki apk.* 2011. № 1. pp. 75-76.
8. F. Masrouri, K. V. Bicalho, and K. Kawai, “Laboratory hydraulic testing in unsaturated soils,” *geotechnical and geological engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 691–704, 2008.
9. Matua V.P., Mironchuk S.A., Isaev E.N. *Vestnik TGASU.* 2017. №5. pp. 192 – 199.
10. Matua V.P., Chirva D.V., Isaev E.N. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2016. №3 (56). pp.186 – 194.