

**В.О.Процюк**  
**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

*В статті проведений огляд і короткий аналіз найбільш розповсюджених методів визначення вологості ґрунтів земляного полотна. Найбільший потенціал серед розглянутих мають електромагнітні методи до яких відноситься георадарні технології.*

**Ключові слова:** вологість ґрунту, термо-ваговий метод, оптичний метод, радіаційний метод, електричний метод, електромагнітний метод.

*Рис 2. Табл 1. Літ 13.*

**В.А.Процюк**  
**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*В статье проведен обзор и краткий анализ наиболее распространенных методов определения влажности ґрунтов земляного полотна. Наибольший потенциал среди рассмотренных имеют электромагнитные методы к которым относится георадарные технологии.*

**Ключевые слова:** влажность ґрунта, термо-весовой метод, оптический метод, радиационный метод, электрический метод, электромагнитный метод.

**V.Protsjuk,**  
**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS FOR DETERMINING MOISTURE SUBGRADE SOIL HIGHWAYS**

*The basic methods and tools that were generally most prevalent for determining soil moisture subgrade were reviewed. Best and reliable test methods are direct, but in some cases using the results of indirect methods. Methods for determining soil moisture should provide accuracy of 10%.*

*The first method is to study the characteristics of soils are methods that provide sampling of test pits and boreholes. However, the high cost of drilling and extensive destruction of pavement leads to a limitation in the application of this method.*

*In contrast to these methods, you can select a method to establish soil moisture by changing the pressure in the pores, and the method for determining the moisture content using sensors that absorb water from the soil by measuring their electrical conductivity, depending on the humidity.*

*Later optical methods that operate on the principle of infrared photometric moisture, based on a selective measurement of moisture absorption of IR radiation or certain wavelengths reflected from the surface of the research soil.*

*In addition to optical in the road sector using neutron method (band radiation methods) to detect humidity through effective deceleration of fast neuronal nuclei of hydrogen atoms, which is kept in water molecules.*

*You should also select a group of electrical methods to which the electrical prospecting. The method is to measure the difference in electrical resistance in the soil.*

*Among these methods to determine the soil moisture biggest advantage with electromagnetic methods which include georadar technology. They can obtain information about the physical properties of soils quickly and in continuous operation, without violating the integrity of the pavement.*

**Key words:** soil moisture, thermo-gravimetric method, optical method, the radiation method, the electrical method, electromagnetic method.

**Постановка проблеми.** Часто причиною руйнування дорожніх одягів автомобільних доріг і міських вулиць є незадовільні за міцністю та деформативністю показники ґрунтів земляного полотна для експлуатації доріг і вулиць. В значній мірі на міцнісні та деформаційні характеристики ґрунтів впливає надмірне зволоження, як від атмосферних опадів так і від ґрунтових вод. Тому для більш точної оцінки міцнісного стану дорожнього одягу або встановлення причин передчасного руйнування покриття автомобільних доріг і міських вулиць необхідне залучення інформації про вологість ґрунтів земляного полотна і шарів основи з незв'язних матеріалів.

**Огляд і аналіз основних методів та засобів по визначенню вологості ґрунтів земляного полотна, що розглянуті в статті.** Для визначення вологості ґрунтів використовують як руйнівні так і неруйнівні методи. Кращими і надійними є прямі методи випробувань (термо-ваговий), але в ряді випадків використовуються результати непрямих методів дослідження (тензометричний, оптичний, електричний та ін.).

©В.О.Процюк

Методи і засоби по визначення фізичних характеристик ґрунтів нормуються документами [1-3] та методиками проведення робіт [4].

Методи визначення вологості ґрунту повинні забезпечувати точність не менше 10 % [5]. Відомо, що вологість ґрунту характеризує відношення маси незв'язної води в ґрунті до маси твердих частинок. Тому визначення вологості полягає у застосуванні термо-вагового методу, який базується на висушуванні і зважуванні зразка ґрунту.

Першими методами дослідження характеристик ґрунтів були методи, що забезпечуються шляхом відбору зразків із шурфів та бурових свердловин [4]. Дані методи являються найбільш розповсюдженими в Україні. Проте висока вартість проведення бурових робіт і значне руйнування дорожнього одягу призводить до обмеженого застосування даного методу лише в конкретних точках і не дає повної «картини» обстеження.

З середини ХХ століття вологість ґрунтів почали визначати методом, що дозволяє встановити зміну тиску в ґрунтових порах [6], при цьому вже знайдена залежність між всмоктуванням датчика із дрібнопористого скла і вологістю. Даний метод відноситься до групи тензометричних методів.

Проте простішими і більш розповсюдженими стали методами визначення вологості за допомогою датчиків, що всмоктують воду із ґрунту шляхом вимірювання їх електропровідності, що залежить від вологості.

Пізніше з'явилися оптичні методи, що працюють за принципом інфрачервоних фотометричних вологомірів, в основу яких покладено вимірювання вибіркового поглинання вологості ІЧ-випромінювання визначеної довжини хвилі або відбитого від поверхні ґрунту, який досліджується [7].

Перевагами ІЧ-методів є: висока чутливість, точність отримання значень вологості. Головним недоліком у використанні даного методу – можливість отримання інформацію про вологість лише на поверхні підстильного ґрунту.

Крім оптичних методів використовують і радіаційні методи контролю, якими можна визначити щільність ґрунту і масову долю вологості. До групи радіаційних методів відносяться: нейтронний, рентгенівський і метод ядерного магнітного резонансу. В дорожній галузі використовують нейтронний метод, який дозволяє визначити вологість на основі ефективного сповільнення швидких нейтронів ядрами атомів водню, який утримується в молекулах води. Радіаційні методи не набули широкого застосування через шкідливий вплив гамма-випромінювання на навколишнє середовище і здоров'я людини.

Також слід виділити групу електричних методів, до якої відноситься електрична розвідка. Суть методу полягає у вимірюванні різниці електричного опору в ґрунті [6]. Струм пропускається між двома електродами, що занурені в ґрунт. Падіння напруги визначають іншими двома електродами, що розташовані між ними за допомогою містка Уйтсона. Вологі ґрунти мають порівняно менший опір, а сухі ґрунти – більший опір. Проте ці засоби дають неточність в результатах значень, тому що незначне зміння щільності, структури ґрунту і хімічного складу води в значній мірі впливає на результати.

Щоб запобігти цьому, почали застосовувати пористі датчики із органічного скла, нейлону, капронової тканини, вугілля, гіпсу із щільно закріпленими в них електродами. При цьому вони дозволяють визначити значення вологості ґрунтів з точністю до 2 – 4 %.

Недоліком даного методу є потреба у калібруванні. Для кожного типу ґрунту і при різній вологості потрібно знати значення електричного опору.

Крім вологомірів, в яких змінюється електричний опір в залежності від вологості ґрунту, велике розповсюдження отримали ємнісні датчики [8]. Фізичні передумови для використання ємнісного методу при визначенні вологості ґрунтів засновані на тому, що діелектрична проникність води ( $\epsilon=81$ ) в рази більша за діелектричну проникність сухого ґрунту ( $\epsilon=3 - 12$ ). При цьому на значення діелектричної проникності в значній мірі не впливають хімічний склад води і концентрація розчинених у ній електролітів.

При застосуванні цього методу спочатку вимірюють діелектричну проникність і кут діелектричних втрат електронного конденсатору і на основі цих вимірювань знаходять дійсну діелектричну проникність [6]. Даний метод дозволяє визначити вагову і об'ємну вологість з високою точністю.

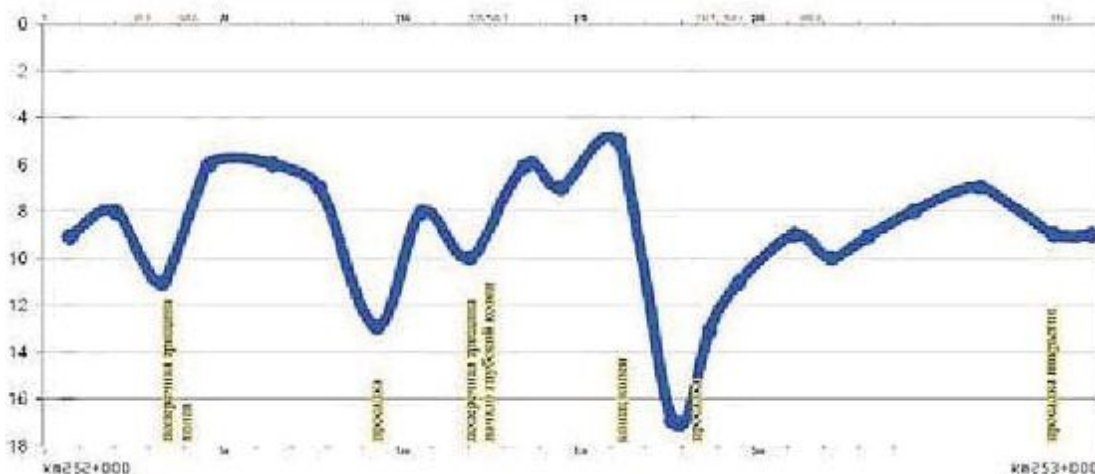
Згадані вище методи (таблиця 1) дозволяють визначати вологість, ґрунтів лише у контрольних точках, що не дає повної «картини» про варіювання вологості в повздовжньому і поперечному

напрямах. Це являється головним недоліком проаналізованих методів по визначенню вологості, адже вологість може значно змінюватися навіть на невеликій за протяжністю ділянці, що призводить до неточності при оцінці стану міцності дорожнього одягу. Про це свідчать обстеження автомобільних доріг та міських вулиць в Росії із застосуванням георадарних технологій проведенні А.М. Куліжниковим, А.А. Белозеровим [9] (рис. 1) та в Україні (рис. 2) [10].

Таблиця 1.

Основні характеристики методів вимірювання вологості ґрунтів земляного полотна.

| Метод            |                             | Вимірювальний параметр                                     | Характеристика методу      |                           |  |
|------------------|-----------------------------|--|----------------------------|---------------------------|--|
| Група            | Принцип                     |  | Вимірювання без руйнування | Неперервність вимірювання | Отримання інформації в польових умовах |
| Прямі            | Термо-ваговий               | Маса, об'єм  | -                          | -                         | -                                      |
| Непрямі          | Тензо-метричний             | Тиск в порах   | +                          | -                         | +                                      |
| Оптичні          | Інфрачервоний фотометричний | Довжина хвилі  | -                          | +                         | +                                      |
| Радіаційні       | Нейтронний                  | Інтенсивність гамма-випромінювання, сповільнення нейтронів | +                          | -                         | +                                      |
| Електричні       | Електрична розвідка         | Електричний опір   | +                          | -                         | +                                      |
| Електро-магнітні | Ємнісний (вологомір)        | Діелектрична проникність                                   | +                          | -                         | +                                      |
|                  | Геофізичний (георадар)      | Діелектрична проникність                                   | +                          | +                         | +                                      |



Відстань, км 252+000 – км 253+000

Рис. 1. Графік змін середньої вологості ґрунтів, отриманий за допомогою георадарів ОКО.

©В.О.Процюк

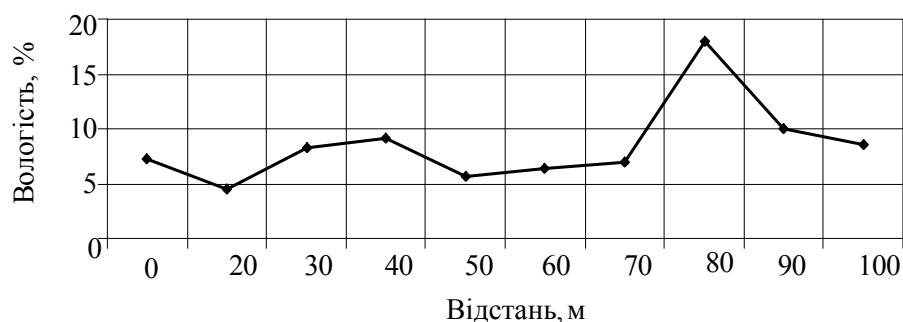


Рис. 2. Графік змінення вологості ґрунтів земляного полотна за результатами георадарних обстежень.

Серед розглянутих методів по визначенню вологості ґрунтів найбільше переваг мають електромагнітні методи до яких відноситься георадарні технології. Вони дозволяють отримувати інформацію про фізичні властивості ґрунтів швидко і в неперервному режимі при цьому не порушуючи цілісності дорожнього одягу. В сучасній світовій практиці обстеження автомобільних доріг все частіше набуває розповсюдження саме застосування неруйнівних геофізичних методів – георадіолокація, як експрес-метод, що дозволяє отримувати безперервну інформацію для обробки в режимі реального часу [11].

Значний внесок у розвиток георадарних технологій при обстеженні автомобільних доріг зроблений А.М. Куліжніковим, А.А. Білозеровим, В.П. Золотарьовим, М.Л. Владовим, А.В. Старовойтовим, С.Н. Бурдю, В.В. Копейкіним, Капустіним, З.Б. Хакієвим, А.Р. Annan, J.L. Davis, G.C. Torp, Timo Saarenketo.

З 1998 року в дорожній галузі Росії почалося застосування георадарних технологій на автомобільних дорогах, що призвело до розроблення методичних рекомендацій [12].

Провідними закордонними фірмами по виробництві георадарів і програмного забезпечення для інтерпретації даних являються GSSI Нью Гемпшир, США), Sensor and Software Inc. (Канада), Era Technology (Великобританія), Mala (Швеція), Radar Systems (Латвія), OYO corporation (Японія) и Geozondas (Литва).

Основним параметром, за яким визначають властивості матеріалу за допомогою георадіолокації, являється його діелектрична проникність ( $\epsilon$ ).

Однак існують обмеження у використанні георадарних технологій, що пов'язані зі складністю при інтерпретації даних георадарного зондування, накопичена недостатня кількість даних про електрофізичні характеристики ґрунтів, а відповідно мало інформації про емпіричні зв'язки фізико-механічних характеристик з електрофізичними.

**Висновки і перспективи.** На даному етапі георадарне обстеження автомобільних доріг рекомендується проводити паралельно з виконанням робіт представлених у нормативних документах [13, 14], а саме виконувати відбір кернів для отримання типу та вологості ґрунту стандартними методами, щоб виконати відповідне калібрування переважно в тих місцях, де виникає ускладнення при інтерпретації даних. За результатами буріння вносять корективи в установлення початкових параметрів георадару [12]. Це дозволяє зменшити похибку при визначенні вологості під час інтерпретації даних. Контрольне буріння можна виконувати до сканування, в процесі або після сканування.

1. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Польові випробування. Загальні положення : ДСТУ Б В.2.1-6-2000. – [Чинний від 2001-01-01]. – К. : Державний стандарт України, 2000. – 13 с. – (Національний стандарт України).
2. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей : ДСТУ Б В.2.1-17:2009. – [Чинний від 2010-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 36 с. – (Державний стандарт України).

3. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Відби рання, упакування, транспортування і зберігання зразків : ДСТУ Б В.2.1-8-2001. – [Чинний від 2002-04-01]. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2002. – 16 с. – (Державний стандарт України).
4. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. – [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 74 с. – Державний стандарт України).
5. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики : ТКП 140-2008 (02191). – [Действующий от 2009-01-01]. – Минск : Департамент «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2008, – 45 с. – (Технический кодекс установившейся практики)
6. Иванов Н.Н. Применение достижений физики в строительстве автомобильных дорог / Н.Н. Иванов, И.В. Поройков. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 148 с.
7. Мухитдинов М. Оптические методы и устройства контроля влажности / М. Мухитдинов, Э.С. Мусаев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.
7. Черняк Г.Я. Методы определения естественной влажности и пористости песчаных грунтов. Водгео. Информационные материалы №7. – 1955.
8. Кулижников А.М.. Неразрушающие георадарные методы в инженерных изысканиях / А.М. Кулижников, А.А. Белозеров // Геопрофи. – 2004. – №5. – С. 44-47.
9. Батракова, А.Г. Оценка состояния дорожных одежд с привлечением георадарных технологий: монография / А.Г. Батракова. – Харьков : ХНАДУ, 2013. – 156 с.
10. Архангельский С.В. Автоматизированный диагностический комплекс контроля состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры «ЭРА» / С.В. Архангельский // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №1. – С. 76-82.
11. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства Российской Федерации (РОСАВТОДОР). – М.: – 2003. – 37 с.
12. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог : ОДН 218.0.006-2002. – [Действующий от 2002-10-03]. – М. : Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (РОСАВТОДОР), 2002, – 196 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
13. Оценка прочности нежестких дорожных одежд : ОДН 218.1.052-2002. – [Действующий от 2002-11-19]. – М. : Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (РОСАВТОДОР), 2002, – 95 с. – (Отраслевые дорожные нормы).

Стаття надійшла до редакції 28.04.2014