

*Батракова А. Г., канд. техн. наук, доц.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

agbatr@mail.ru

Приведены результаты определения влажности грунтов земляного полотна с применением полевого георадара. Предложен подход к оценке прочности дорожных одежд и назначению мероприятий по ремонту по результатам георадарного обследования. Методика определения влажности апробирована на автомобильных дорогах, находящихся в эксплуатации.

Ключевые слова: влажность грунтов, сдвигающие напряжения, дорожная одежда.

Существенное влияние на несущую способность дорожных одежд оказывает влажность грунтов земляного полотна. Согласно действующим нормативным документам [1] измерения упругого прогиба проводятся на участках дороги через заданный интервал. Вместе с тем, как

показывают результаты георадарных обследований автомобильных дорог, выполненные на автомобильных дорогах Харьковской области, влажность грунтов земляного полотна значительно изменяется на достаточно коротких по протяженности участках (рис. 1).



Рис. 1. Изменение влажности грунтов земляного полотна по результатам георадарного обследования

Данные результаты подтверждаются обследованиями, выполненными А.М. Кулижниковым на автомобильных дорогах Архангельской, Московской областей [2]. Неоднородность характеристик грунтов земляного полотна по влажности приводит к противоречивым оценкам в определении несущей способности дорожных одежд [3]. Таким образом, для повышения достоверности оценки прочностных характеристик конструкции необходимо непрерывное получение информации о влажности грунтов земляного полотна и слоев основания.

Оценка влажности материалов, используемых в дорожном строительстве, в настоящее время проводится с использованием различных методов: взвешивание образцов, временная рефлектометрия, регистрация нейтронного прохождения (neutron probe logging), емкостные измерения либо измерения проводимости и родственный метод импедансной томографии. Эти методы являются дорогостоящими, инвазивными, трудоемкими и обладают значительными погрешностями, связанными в первую очередь с попаданием в образцы воды, применяемой для охлаждения инструментов, используемых при отборе проб. Поэтому процедура определения влагосодержания в конструктивных слоях дорожных одежд до последнего времени не входила

в набор мероприятий по обследованию дорог. Георадарные технологии, напротив, являются неразрушающими и позволяют осуществлять сбор и обработку данных в режиме реального времени с участков большой протяженности. Поэтому такие технологии относятся к весьма перспективным в плане применения в дорожной отрасли. К настоящему времени разработаны методики обработки георадарных данных с целью построения распределения диэлектрической проницаемости по глубине исследуемой структуры [4, 5], основанные на обработке годографа дифрагированной волны. Однако такие методики применимы лишь при условии наличия множества точечных локализованных включений, что делает их непригодными для обследования дорожных одежд.

Ранние работы, посвященные проблеме определения влажности [6,7] предполагали первоначальное измерение скорости распространения сигнала (электромагнитной волны) в среде и последующее использование известной формулы, связывающей скорость сигнала со значением диэлектрической проницаемости:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}; \Rightarrow \epsilon = \left(\frac{c}{v}\right)^2, \quad (1)$$

где v – скорость распространения сигнала, см/нс; c – скорость света в свободном пространстве, см/нс; ε – диэлектрическая проницаемость материала.

В свою очередь, измерение скорости предполагало измерение времени прохождения сигнала через участок материала известной длины (толщины). Для оценки электрофизических свойств материалов использовался также и анализ амплитуды сигналов прошедших сквозь исследуемую среду. Методы, основанные на использовании поверхностных (ground-coupled) волн, предполагают обработку информации об амплитуде сигнала, которая в свою очередь, является функцией мощности сигнала, прошедшего вдоль поверхности дороги между двумя антеннами, коэффициента связи между антеннами, свойств материала покрытия и внутренних границ. Очевидно, что амплитуда уменьшается с ростом расстояния между антеннами и увеличением поглощения в материале конструкции. Поэтому сигнал может стать настолько слабым, что его трудно будет зарегистрировать, даже для весьма небольших расстояний (трасс) в средах с большим поглощением. Это создает серьезные трудности для получения достоверных данных и их надежной интерпретации. Предпринимались также попытки использования упрощенных формул, связывающих диэлектрическую проницаемость с проводимостью (σ) и поглощением (α) [7]:

$$\sqrt{\varepsilon} \approx \frac{1.69 \cdot 10^3 \cdot \sigma}{\alpha}. \quad (2)$$

Однако эта и подобные формулы ввиду их приближенного характера оказались применимы лишь для ограниченного числа конструкций и материалов. Кроме того, электропроводность (σ) материалов дорожных конструкций чаще всего неизвестна. Все это значительно ограни-

чивает возможности применения поверхностных волн при обследованиях дорожных одежд.

Более предпочтительным в этой связи представляется использование информации, содержащейся в отраженных от внутренних слоев конструкции сигналах при так называемом однопозиционном зондировании (с помощью приемопередающего антенного блока). Проведенные авторами работ [6,7] исследования позволяют сделать вывод не только о принципиальной возможности оценки содержания влаги в слоях дорожной конструкции с помощью георадарных данных, но и о высокой точности такой методики. Кроме того, результаты проведенных экспериментов позволили глубже понять механизмы инфильтрации влаги в слоях различных дорожных конструкций. Однако, для использования этих результатов при оценке и прогнозировании состояния дорожных конструкций необходимо привлечение моделей, позволяющих учитывать влияние влажности несущих слоев на их физико-механические (эксплуатационные) свойства.

Амплитуды сверхширокополосных (СШП) импульсных сигналов, отраженных как от внутренних границ слоев, так и от других неоднородностей, несут достаточное количество информации для определения электрофизических характеристик слоев дорожной одежды.

Конечным этапом обработки в рамках схемы зондирования сверхширокополосными импульсными сигналами является пересчет скорости распространения волн в значение диэлектрической постоянной и последующее использование формул пересчета значений диэлектрической постоянной в значения влажности.

Исследования связи влажности с диэлектрической проницаемостью проводились в лабораторных условиях на моделях известной толщины с помощью георадара с центральной частотой 1200 МГц для грунтов различных типов (рис. 2).

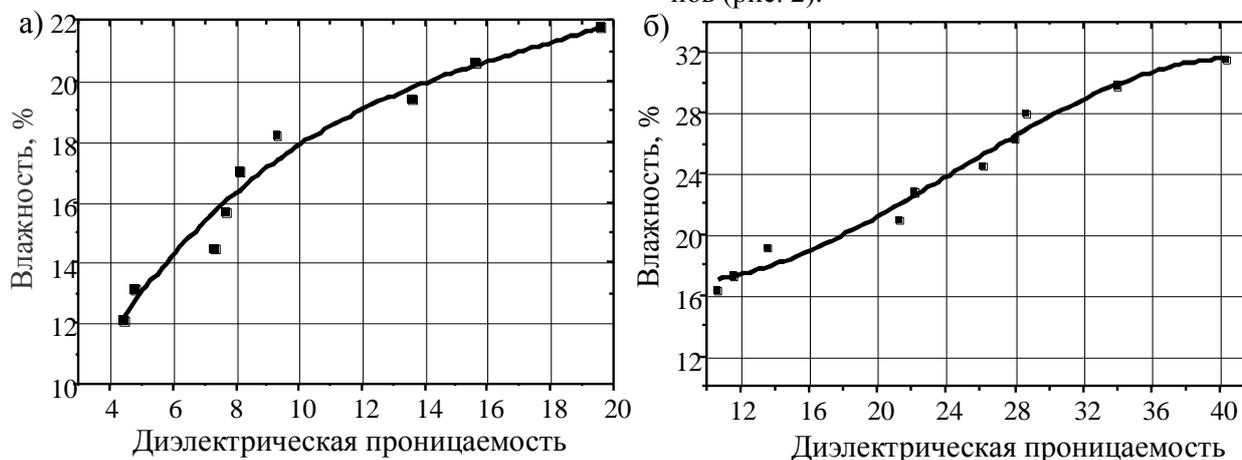


Рис. 2. Связь влажности и эффективной диэлектрической проницаемости грунтов

а) супесь (а); б) глина

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила установить зависи-

мость, отражающую связь влажности и диэлектрической проницаемости (ϵ_{eff}):

- для супесчаных грунтов:

$$W = 4,08279 + 2,29648 \cdot \epsilon_{eff} - 0,11337 \cdot \epsilon_{eff}^2 + 0,00216 \cdot \epsilon_{eff}^3 ; \quad (3)$$

- для глинистых грунтов:

$$W = 20,23179 - 0,87117 \cdot \epsilon_{eff} + 0,06284 \cdot \epsilon_{eff}^2 - 8,49626 \cdot 10^{-4} \cdot \epsilon_{eff}^3 , \quad (4)$$

где W - весовая влажность грунта, %.

Полученные результаты, составляют основу модели оценки текущего состояния дорожных одежд с учетом влажности слоев из несвязных материалов и грунтов земляного полотна.

Для дальнейшей оценки текущего состояния дорожных одежд с учетом данных георадарного зондирования разработана методика учета влияния зон переувлажнения на показатели, характеризующие состояние конструкции.

Механизм влияния влажности на прочностные и деформационные показатели работы конструкции дорожной одежды оценивался по результатам моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций различных типов с помощью программного комплекса ANSYS. В процессе моделирования определялась полная деформация и сдвигающие напряжения в конструктивных слоях дорожных одежд при различной влажности грунтов (рис. 3).

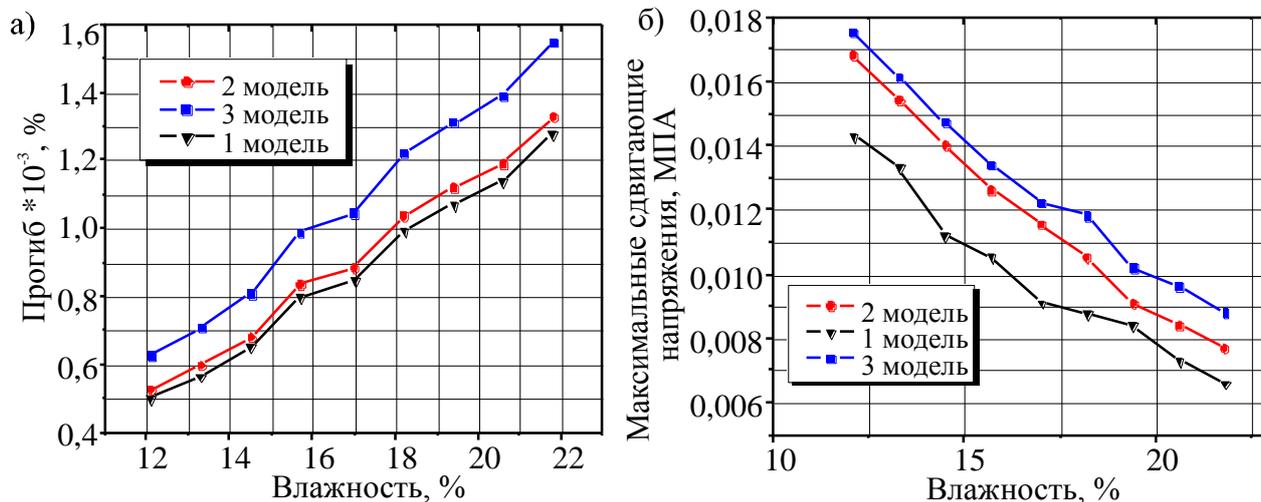


Рис. 3. Связь влажности грунта (супесь) с прочностными и деформативными характеристиками конструкции дорожной одежды на границе «основание – грунт»

а) величина прогиба на границе «основание – грунт»; б) максимальные напряжения сдвига

Результаты проведенных лабораторных экспериментов были использованы при георадарном обследовании автомобильных дорог на этапе эксплуатации. Примером может служить участок автомобильной дороги, находящийся в эксплуатации первый год после капитального ремонта, на котором была определена достаточно протяженная по длине просадка дорожной одежды. На данном участке была определена влажность грунтов земляного полотна. Дальнейшее использование связи между диэлектрической проницаемостью и влажностью грунта (3–4) позволило подтвердить правильность интерпретации радарограмм.

По результатам георадарного сканирования и дальнейшего экспериментального определе-

ния влажности грунтов земляного полотна было установлено, что причиной просадки покрытия на данном участке дороги является повышенное увлажнение грунтов земляного полотна. Это приводит к снижению несущей способности подстилающего грунта и, как следствие, просадке дорожной конструкции. Для подтверждения выводов, сделанных по результатам интерпретации радарограмм, была определена влажность грунтов на обочине на глубине 50 см с помощью влагомера, а также проведен отбор кернов. По результатам отбора кернов определено, что слои основания переувлажнены, что свидетельствует о существенном снижении прочностных характеристик материалов конструкции дорожной одежды. Сопоставление значений влажности

грунтов земляного полотна, полученных по результатам георадарного сканирования и путем гравиметрических измерений, показали, что

расхождение между этими двумя методами составляет приблизительно 3 %.

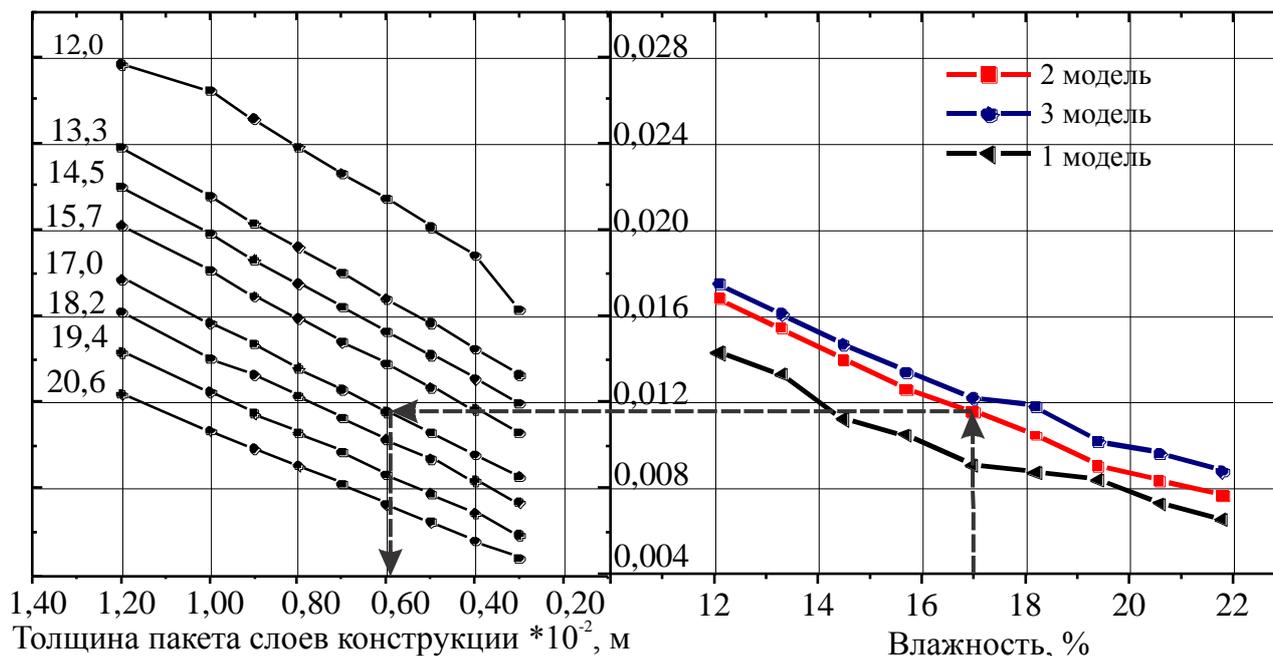


Рис. 4. Связь толщины пакета слоев конструкции с влажностью грунтов
Цифры на кривых – весовая влажность грунта

Эти результаты свидетельствуют, что методы подповерхностного зондирования могут использоваться для точной, неразрушающей оценки влажности грунтов земляного полотна, расчета напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды с целью назначения ремонтных мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сооружения транспорта. Дорожная одежда нежесткого типа: ВБН В.2.3-218-186-2004. – К.: Укравтодор, 2004. – 176 с.
2. Кулижников, А.М. Георадары в дорожном строительстве / А.М. Кулижников, М.Л. Шабашева // Автомобильные дороги: обзорн. информ. – М.: Информавтодор, 2000. – Вып. 2. – 51 с.
3. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие / И.И. Леонович [и др.] – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 350 с. – ISBN 978-985-475-378-4
4. Денисов, Р.Р. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме / Р. Р. Денисов, В. В. Капустин // Геофизика. – 2010. – №4. – С. 76-80.
5. Владов, М.Л. Введение в георадиолокацию: учебное пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Изд. МГУ, 2005. – 153 с. – ISBN 5-211-049-38-1

6. Davis, J.L. Electromagnetic detection of soil water content: progress report 1. / J.L.Davis, A.P. Annan. – Can. J. Remote Sens., 1988. – № 1 (3). – P. 76– 86.

7. Topp, G.C. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. / G.C. Topp, J.L. Davis, A.P. Annan // Water Resource Results, 1980. – № 16 (3). – P. 574–582