

Процюк В.А., аспирант
Луцкий национальный технический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ГЕОРАДАРНОМ ОБСЛЕДОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕР ПО СОХРАНЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

protsai2@rambler.ru

В статье рассмотрен один из методов решения проблемы дорожной отрасли, состоящей в необходимости сохранения конструкции дорожной одежды. Предложено при расчете несущей способности дорожной одежды использовать показатели влажности грунтов, полученные при применении методов георадиолокации. Проанализированы существующие методы получения данных о влажности грунтов. Кратко рассмотрен принцип работы георадиолокации и изложены теоретические основы этого метода. Экспериментально установлены зависимости модуля упругости грунта от его влажности и диэлектрической проницаемости от влажности. На основе полученных результатов представлены связи между значениями диэлектрической проницаемости и модуля упругости грунта. Предложено использовать данные георадарного обследования для определения сроков ограничения движения тяжелых транспортных средств в период весенней распутицы.

Ключевые слова: георадар, дорожная одежда, грунт земляного полотна, влажность, деформационные характеристики, диэлектрическая проницаемость.

Введение. Главными задачами дорожной отрасли Украины являются сохранение существующей сети автомобильных дорог, обеспечение непрерывного движения транспортных средств в период весенней распутицы, поддержание транспортно-эксплуатационных показателей дорожной одежды в надлежащем состоянии, что, несомненно, является актуальным в сложных финансовых условиях. Основанием для применения мер по сохранению конструкции автомобильных дорог является максимально полная и точная оценка фактической несущей способности дорожной одежды.

Одним из путей решения указанных проблем является привлечение к диагностике автомобильных дорог современных высокопроизводительных и точных технических средств неразрушающего контроля.

В настоящее время наиболее распространенным методом оценки несущей способности дорожной одежды является установка динамической нагрузки, измеряющей «жесткость» (динамический модуль упругости) конструкции. Нужно отметить, что такая методика отражает лишь общий модуль упругости конструкции и не дает возможности установить причины, влияющие на полученное значение модуля. Известно [1], что несущая способность всей конструкции определяется несущей способностью подстилающих грунтов, которая, в свою очередь, зависит от влажности: с увеличением влажности значения прочностных и деформационных характеристик грунтов снижаются [2, 3, 4].

Чрезмерное влагонакопление грунтов земляного полотна может привести:

1) к образованию значительных невозобновляемых прогибов дорожного покрытия;

2) к возникновению критических оползневых напряжений в подстилающих грунтах, что способствует пластическим деформациям на поверхности покрытия;

3) к предельным растягивающим напряжениям в нижней зоне монолитных асфальтобетонных слоев, что в дальнейшем приводит к разрушению (дефектам) покрытия.

Оценка влажности грунтов также необходима для установления эффективности работы дренажных сооружений или обоснования рекомендаций по обустройству дренажей.

Согласно нормативному документу [5] оценку влажности грунтов земляного полотна выполняют в дискретных точках, при этом рекомендуют делать отбор образцов грунтов не реже 250 м. Такое количество точек для оценки влажности является недостаточным для полной диагностики состояния дорожной одежды, что снижает качество проведения грунтово-геологических изысканий. Это приводит к грубым ошибкам при проектировании работ по текущему и капитальному ремонтам и содержанию дорог.

В период оттаивания грунтов земляного полотна происходит существенное снижение модуля упругости конструкции, что находит отражение в значительных упругих (и остаточных) прогибах под колесами тяжелых транспортных средств. Это объясняется снижением прочностных характеристик грунтов (удельного сцепления C и угла внутреннего трения φ) и накоплением остаточных пластических деформаций от многократного приложения критических нагрузок.

Для сохранения целостности конструкции дорожной одежды ограничивают движение тя-

желых транспортных средств на период от начала оттаивания земляного полотна до снижения влажности до оптимальных значений. Однако внедрение неточных сроков ограничения движения автомобилей не даст ожидаемого результата. Для урегулирования данного вопроса необходима оперативная и неразрушающая дорожную одежду оценка физико-механических и деформационных характеристик подстилающих грунтов.

Проведенный анализ существующих методов оценки влажности грунтов показал, что наиболее эффективными инструментами являются георадары, широко применяемые при диагностике дорожной одежды в скандинавских, североамериканских странах, Австралии, России и других государствах.

Методология. Георадарное оборудование излучает через передающую антенну в дорожную одежду электромагнитный импульс, который отражается от границ слоев среды, имеющих различные электрофизические характеристики. При этом отраженные импульсы принимаются приемной антенной георадара. На время прохождения импульса через среду влияет значение диэлектрической проницаемости этой среды [6]: с увеличением ее диэлектрической проницаемости скорость прохождения импульса уменьшается.

Поскольку диэлектрическая проницаемость воздуха равна 1, воды – 81, а минеральных частиц – изменяется в пределах от 3 до 9 [6], то в зависимости от количества воды, содержащейся в грунтовом массиве, значение диэлектрической проницаемости среды, скорость прохождения электромагнитного импульса и величина затухания будут изменяться. Это предоставляет возможность установить зависимость диэлектрической проницаемости от влажности грунтов посредством использования георадарного оборудования. Первые результаты исследований зависимости диэлектрической проницаемости от влажности грунтов представлены в работе [7]. Однако при расчете несущей способности до-

рожной одежды проектанты интересуются прежде всего значением прочностных и деформационных характеристик грунтов, а не электрофизических. Поэтому в работе были проведены исследования по установлению связи диэлектрической проницаемости с модулем упругости ($E_{уп}$).

Основная часть. Проанализировав результаты исследований прочностных и деформационных характеристик, полученные разными авторами [8, 9, 10, 11], а также значения, приведенные в нормативных документах [2, 3, 4], мы пришли к выводу, что на разных территориях значения деформационных и прочностных характеристик разные, однако имеют сходный характер зависимости от влажности. Это объясняется различиями в гранулометрических составах грунтов, отличительными условиями увлажнения и эксплуатации земляного полотна, промерзанием и оттаиванием. Поэтому было принято решение не использовать значения из нормативных документов, а определить значение деформационных характеристик и установить их связь с диэлектрической проницаемостью.

Первый этап исследования предусматривал определение деформационных характеристик. Для экспериментальных исследований была изготовлена грунтовая модель с размерами 60 × 60 см и толщиной 40 см. Требуемая плотность грунта достигалась при оптимальной влажности уплотнения. Уплотнение проводилось послойно, а значение показателя уплотнения проверялось с помощью плотномера-влажмера Ковалева. Исследование модуля упругости проводилось по методике [4] для различных значений влажности грунтов от 0,5 Вт до 0,9 Вт. В исследованиях использовались грунты, отобранные из земляного полотна. Необходимо было предварительно определить их физические характеристики и тип исследуемого грунта. Данные характеристики приведены в таблице 1. В исследованиях использовались суглинок пылеватый и глина пылеватая.

Таблица 1

Физические характеристики исследуемых грунтов

№	Физические характеристики грунта	Проба №1	Проба №2
1	Влажность на границе текучести, %	33,5	35
2	Влажность на границе раскатывания, %	18,7	17,2
3	Число пластичности	14,8	17,8
4	Оптимальная влажность при максимальной плотности, %	15,7	16,32
5	Максимальная плотность при оптимальной влажности, г/см ³	1,772	1,767
6	Тип грунта	Суглинок тяжелый пылеватый	Глина легкая пылеватая

На грунтовую модель через жесткий штамп диаметром 100 мм при помощи рычажного пресса (рис. 1) прикладывалась ступенчатая

нагрузка с разгрузкой после каждой ступени: 0,05 МПа, 0,10 МПа, 0,15 МПа, 0,2 МПа. Каждая ступень нагрузки выдерживалась до затухания

деформации (разница отсчетов по индикаторам – не более 0,01 мм за 5 мин.). После снятия конечной нагрузки измерялась величина упругого прогиба индикаторами электронного типа DIGICO 10 с ценой деления 0,001 мм (рис. 2). Датчики располагались по краю штампа на линии диаметра.



Рис. 1. Общий вид рычажного пресса

По формуле [12] за измеренным упругим прогибом определяли модуль упругости грунта:

$$E_{уп} = \frac{\pi \cdot p \cdot (1 - \mu^2)}{4 \cdot S} \quad (1),$$

где p – давление, которое передается на грунтотую модель, МПа; μ – коэффициент Пуассона (для суглинка $\mu=0,37$ [12], для глины $\mu=0,41$ [12]); S – упругая деформация модели, мм.

Результаты испытаний представлены графически с данными нормативных документов [2, 3, 4] для сравнения (рис. 3, 4).



Рис. 2. Измерение перемещения штампа датчиками электронного типа DIGICO 10

Второй этап исследования предусматривал установление связи диэлектрической проницаемости с влажностью грунтов. Определение значений диэлектрической проницаемости проводилось на тех же изготовленных моделях и при тех же значениях влажности. Для определения значений диэлектрической проницаемости применялся георадар «ОДЯГ» посредством сканирования модели в стационарном режиме. Приемопередающий антенный блок с центральной частотой зондирующего импульса 1,2 МПа устанавливался на высоте 35 см над моделью.

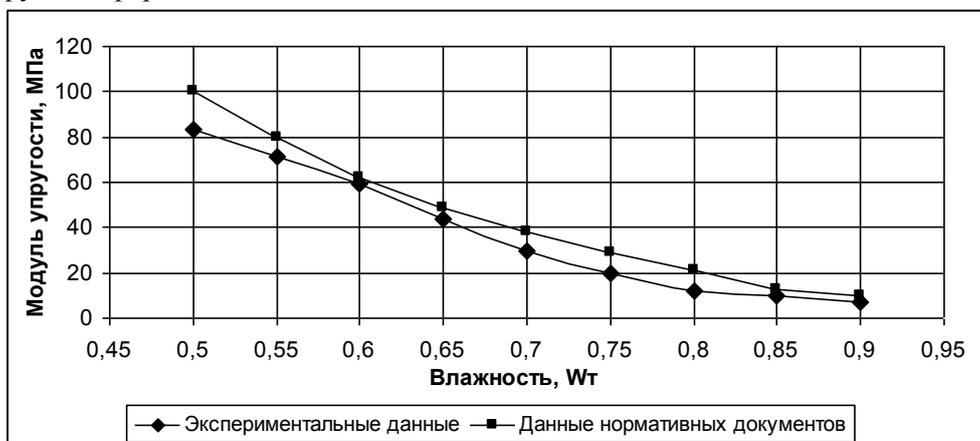


Рис. 3. Модуль упругости суглинка

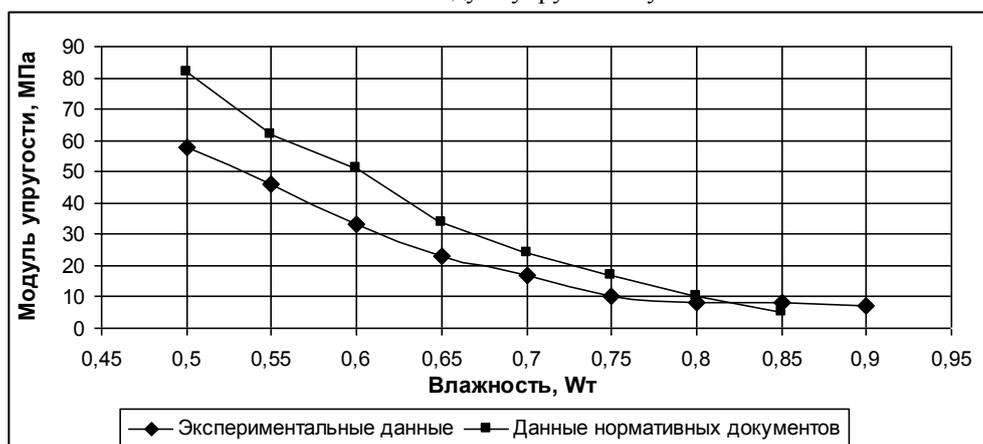


Рис. 4. Модуль упругости глины

Таблица 2

Значение диэлектрической проницаемости грунта

Влажность на границе текучести	Тип грунта	
	Суглинок	Глина
0,50 W _T	14,3	11,6
0,55 W _T	16,0	13,5
0,60 W _T	20,1	21,2
0,65 W _T	28,9	22,2
0,70 W _T	30,0	26,1
0,75 W _T	32,8	27,9
0,80 W _T	35,2	28,7
0,85 W _T	48,1	30,9
0,90 W _T	49,9	40,3

По результатам интерпретации радарограмм при помощи программы «Geovisuy» определялась величина диэлектрической проницаемости грунтов. Изменения значений диэлектрической проницаемости в зависимости от степени влажности грунта для суглинка и глины представлены в таблице 2.

По результатам, полученным при лабораторных исследованиях деформационных и электрофизических характеристик грунтов, были установлены связи между значениями упомянутых характеристик исследуемых суглинка и глины (рис. 5).

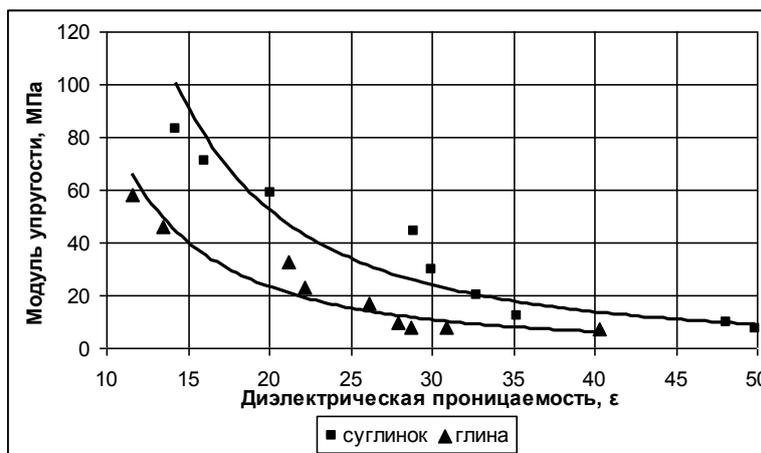


Рис. 5. Связь диэлектрической проницаемости с модулем упругости грунта

По результатам аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов установлена связь между диэлектрической проницаемостью и модулем упругости, которая лучше всего описывается функциями степенного вида, и коэффициент корреляции (R^2):

- для суглинка:

$$E_{yn} = 17866 \cdot \epsilon^{-1,9459}, \quad (2)$$

коэффициент корреляции $R^2=0,9071$;

- для глины:

$$E_{yn} = 5864,5 \cdot \epsilon^{-1,854}, \quad (3)$$

коэффициент корреляции $R^2=0,9136$,

где ϵ – диэлектрическая проницаемость.

Зависимости (2), (3) позволяют оценивать деформационные характеристики грунтов по установленным на основе георадарного сканирования значениям диэлектрической проницаемости. Это является основанием для разработки методики оценки деформационных характеристик грунтов в полевых условиях проведения георадарной диагностики дорожной одежды.

Вывод. Применение георадарных технологий в обследовании дорожной одежды в период весеннего влагонакопления способствует выяв-

лению зон избыточного увлажнения земляного полотна, неизбежного при оттаивании грунтов. А расчет напряженно-деформированного состояния дорожной одежды позволяет оценить ее несущую способность с учетом деформационных характеристик переувлажненных грунтов. Данные расчеты помогают установить согласно соответствующим методикам [13, 14] ограничение движения тяжелых транспортных средств с максимальной нагрузкой на ось, вызывающих разрушение конструкции дорожной одежды, а также по рекомендациям [15] период такого ограничения с учетом характеристик грунтов по скорости оттаивания и просыхания почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бируля А.К., Михович С.И. Работоспособность дорожных одежд. М.: Транспорт, 1968. 172 с.
2. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. (взамен ВСН 46-83) / РОСАВТОДОР. Министерство транспорта РФ, М.: Информавтодор, 2001. 154 с.
3. ТПК 45-3.03-112-2008. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила

проектирования. – Минск.: Минстройархитектуры, 2009. – 84 с.

4. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2004. 151 с.

5. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 74 с.

6. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введения в георадиолокацию. М.: МГУ, 2004. 153 с.

7. Топр, G.C. Yanuka M, Zebchuk W.D., Zegelin S. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: Soil and water experiments in coaxial lines. // Water Resources. 1988. № 24. С. 945 – 952.

8. Сиденко В.М., Михович С.И. Эксплуатация автомобильных дорог. Учебник для студентов вузов по специальности «Автомобильные дороги». М.: Транспорт, 1976. 288 с.

9. Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Бадина М.В., Григорьев А.В. Учет региональных природно-климатических условий при уточнении норм проектирования автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. №1. С. 15 – 17.

10. Гнездилова С.А. Учёт изменений состояния грунтов при проектировании дорожных одежд (на примере Белгородской области): Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2010. 23с.

11. Алексиков С.В., Будрудинова А.Н. Обоснование региональной влажности грунтовых обочин автомобильных дорог юга РФ // Дороги и мосты. 2012. №1(27). С. 71–78.

12. Стасовская К.А. Грунтоведение и механика грунтов. Лабораторные работы. К.: «Вища школа», 1977. 128 с.

13. Леонович, И.И., Богданович С.В., Нестерович И.В. Диагностика автомобильных дорог: учебное пособие. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. 350 с.

14. ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности и расчет усиления нежестких дорожных одежд. (взамен ВСН 52-89) / ФДА/ РОСАВТОДОР Минтранспорта России: М.: Информавтодор, 2002.

15. СТО 03-2012. Стандарт организации. Руководство по определению оптимальных сроков ограничения осевых нагрузок на региональных или межмуниципальных дорогах Хабаровского края: Хабаровск., 2012. 23 с.