

УДК 534.61

**Е.В. Денисова, А.П. Хмелинин**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕОСРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ЛОКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ\***

*С помощью современного георадара SIR-3000 и программного обеспечения RADAN 6.6 выполнены модельные эксперименты по исследованию влияния физико-механических свойств слоистой среды на разрешающую способность по дальности при подповерхностном зондировании.*

*Ключевые слова: многослойная среда, искусственная неоднородность, георадар, диэлектрическая проницаемость, электромагнитные волны.*

**В** о многих практически-важных случаях применения георадаров среда распространения сигналов может быть описана моделью в виде многослойного диэлектрика с различными значениями комплексной диэлектрической проницаемости (КДП). К таким случаям относятся, например, возможность исследования дорожных конструкций, грунтово-гидрологические изыскания, обследование искусственных сооружений и т.п. Задача определения координат объектов в слоистой среде и расчете толщины слоев является актуальной для многих прикладных задач.

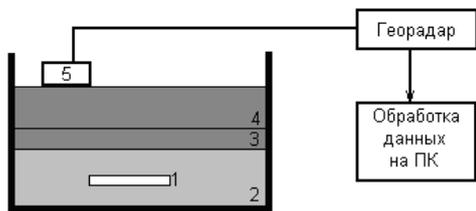
Например, при исследовании подповерхностными радарными автомобильных дорог, важно контролировать толщину слоев дорожных одежд, определять глубину нахождения кабелей и водопроводных труб. При этом число слоев может изменяться от трех-четырех до восьми-десяти. При этом, при наличии априорной информации о физических свойствах сред, возможна разработка эффективных численных алгоритмов обра-

ботки информации, позволяющих восстановить диэлектрическую проницаемость сред и их толщину. [1]

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Первый из них определяет глубинность зондирования используемого георадара, знание второго параметра необходимо для пересчета временной задержки отраженного импульса в глубину до границы раздела сред [2, 3].

Практически все вещества, кроме чистого металла, могут быть отнесены к классу диэлектриков с конечной проводимостью. В связи с этим вводится комплексная относительная (относительно вакуума, где диэлектрическая проницаемость равна  $\epsilon_0$ ) диэлектрическая проницаемость:  $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ , где  $\epsilon$  — комплексная относительная часть, связанная с поляризацией ди-

\* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009—2013 гг.»



**Рис. 1.** Схема стенда для выполнения модельных экспериментов по исследованию влияния физико-механических свойств грунта на параметры распространения электромагнитных волн при подповерхностном георадарном зондировании: 1 — металлическая труба; 2 — сухой песок; 3, 4 — слои влажного песка; 5 — приемопередающая антенна георадара

проницаемость,  $\varepsilon'$  — действительная электрика под действием приложенного поля, а  $\varepsilon''$  — мнимая часть, связанная с конечной проводимостью диэлектрика [4]. Для повышения точности об-

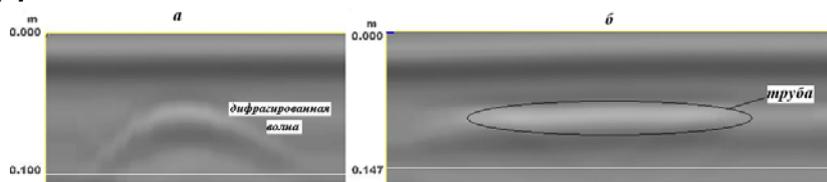
работки георадиолокационных данных необходимо учитывать зависимость диэлектрической проницаемости среды от рабочей частоты передатчика.

Коэффициент отражения электромагнитной волны от границы раздела двух сред оценивается по формуле

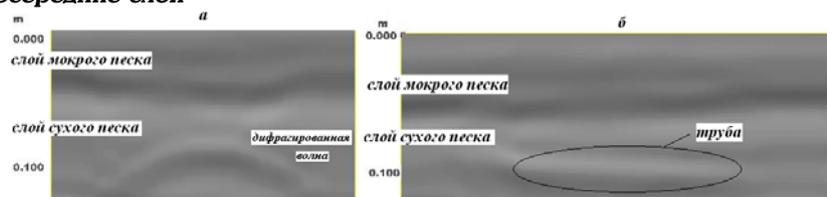
$$[5]: K = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}, \text{ где } \varepsilon_1, \varepsilon_2 \text{ — ди-}$$

электрические проницаемости каждой среды соответственно.

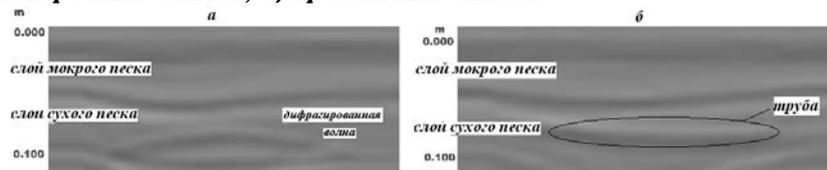
Для оценки влияния физико-механических свойств грунта на параметры распространения электромагнитных волн при подповерхностном зондировании, был разработан стенд для модельных экспериментов. Состав стенда: георадар SIR-3000 с антенной на 2600 МГц и программное обеспечение к нему, ноутбук Acer 150, ем-



**Рис. 2.** — металлическая труба Ш25мм размещена в сухом песке: а) поперечный снимок; б) продольный снимок. Общая толщина слоя песка 90 мм, труба заглублена посередине слоя



**Рис. 3.** — металлическая труба Ш25мм размещена в сухом песке толщиной 90 мм (посередине слоя), над слоем сухого песка добавлен слой влажного, толщиной 30 мм: а) поперечный снимок; б) продольный снимок



**Рис. 4.** — металлическая труба Ш25мм размещена в сухом песке толщиной 90 мм (посередине слоя), над слоем сухого песка добавлен слой влажного, толщиной 30 мм: а) поперечный снимок; б) продольный снимок

кость с песком диаметром 400 мм, металлическая труба диаметром 25 мм.

Методика проведения модельных исследований заключалась в следующем: металлическая труба заглубляется в емкость с сухим песком (толщина слоя песка 90 мм), выполняют продольный и поперечный георадарные снимки. Далее на слой сухого песка накладывается слой влажного песка (относительная влажность 12 %, толщина слоя 30 мм, плотность  $\approx 300 \text{ кг/м}^3$ ) и повторно выполняются снимки, затем увеличивают толщину слоя влажного песка и проводят дальнейшие измерения. Данные с приемопередающей антенны георадара поступают на сам георадар, после чего обрабатываются на персональном компьютере с помощью программного обеспечения RADAN 6.6, предоставленного в комплекте с георадаром. С использованием заданной величины диэлектрической проницаемости среды вычислялись значения глубины слоев. На рис. 2–4 представлены результаты исследований однослойной и многослойной сред.

По данным георадиолокационных исследований многослойной среды содержащей неоднородность в виде металлической трубы длиной 22 мм, т.е.

соизмеримой по своим размерам с длиной излучаемой электромагнитной волны можно сделать следующие выводы:

- при размещении металлической неоднородности в однослойной среде типа сухой песок (см. рис. 2,б) отчетливо наблюдаются границы раздела сред «песок–металл–песок». На поперечном разрезе (рис. 2,а) виден эффект возникновения дифрагированной электромагнитной волны, обусловленный явлением дифракции электромагнитных волн на границе раздела двух сред [6]. Это важно для георадиолокационных исследований явление позволяет определить глубину залегания пластов, провалов и скорость распространения электромагнитных волн в среде над пластами и провалами.

- при исследовании двухслойных сред (рис. 3, 4) «влажный песок–сухой песок» с увеличением толщины слоя влажного песка происходит снижение разрешающей способности георадара по дальности и границы раздела сред становятся менее четкими. Также становится заметным изменение формы дифрагированной волны (ее границы существенно расширяются), что снижает точность при локации местоположения объекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вопросы подповерхностной локации*. Коллективная монография / под ред. А.Ю. Гринева. — М.: Радиотехника, 2005. — 416 с.: ил. (сер. «Радиолокация»).
2. *Финкельштейн М.И., Мендельсон В.А., Кулев В.А.* Радиолокация слоистых земных покровов — М.: С.Р., 1977. — 151 с.
3. *Стеж. П.Е.* К теории распространения электромагнитных волн в слоистых земных покровах // Радиотехника и электроника, 1974. — №10, С. 2066 — 2073.
4. *Финкельштейн М.И., В.А. Кулев, В.П. Золотарев* Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. — М.: Недра, 1986. — 128 с.
5. *Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. — М.: Издательство МГУ, 2004. — 153 с.
6. *Рубан А.Д., Бауков Ю.Н., Шкуратник В.Л.* Горная геофизика. Электрометрические методы геоконтроля. Ч.3. Высокочастотные электромагнитные методы. Учебное пособие. — М.: МГУ, 2002. — 147 с. **ИЛАС**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Денисова Екатерина Вячеславовна* — кандидат технических наук,  
*Хмелинин Алексей Павлович* — аспирант,  
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, admin@misd.nsc.ru.