

Список використаних джерел:

1. Поляченко А.В. Увеличение долговечности восстанавливаемых деталей контактной приваркой износостойких покрытий в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий [Текст]: автореф. дис. докт. техн. наук / Поляченко А.В. – М., 1984. – 44 с.
2. Черноиванов В.И. Совершенствование технологии и повышение качества восстанавливаемых деталей сельскохозяйственной техники [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Черноиванов В.И. – М., 1984. – 53 с.
3. Бурумкулов Ф.Х. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф.Х. Бурумкулов, П.П. Лезин, П.В. Сенин, В.И. Иванов, С.А. Величко, П.А. Ионов. – Саранск: Красный Октябрь, 2003. – 340 с.
4. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
5. Афанасьев І.А. Шляхи підвищення післяремонтної надійності турбокомпресорів автотракторних двигунів / І.А. Афанасьєв, Є.В. Калганков // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej. – Warszawa, 2016. – С. 6-11.

Дробная О.В.

инженер 1 категории;

Зуйков В.А.

ведущий инженер-конструктор;

Букин А.В.

научный сотрудник,

*Институт радиопизики и электроники имени А.Я. Усикова
Национальной академии наук Украины*

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЧАСТОТНОГО РАДИОСИГНАЛА ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СРЕДЫ

Радиолокационное зондирование подповерхностной среды является радиофизическим методом неразрушающего контроля и используется при проведении инженерно-геологических, мелиоративных, гидрогеологических, экологических, археологических работ. Данный метод основан на явлении отражения радиоволн от границ раздела сред (границ неоднородностей), имеющих различные электрофизические свойства. Основными задачами, для решения которых используется этот метод, являются определение физической структуры грунта по глубине и поиск объектов, находящихся под его поверхностью. Применительно к решаемым задачам, этот метод называют георадиолокацией, а радиолокатор, используемый с этой целью, называется георадиолокатором или георадаром [1; 2]. Основной диапазон радиочастот, используемый в георадиолокации, лежит в пределах 10 МГц – 4 ГГц. Глубина подповерхностного радиозондирования зависит от электрофизических параметров среды и может составлять от десятков сантиметров (например, во влажном глиноземе) до сотен метров (в толще льда). Основное отличие георадиолокации от радиолокации в свободном, т.е. воздушном и

безвоздушном пространстве, заключается в том, что в случае георадиолокации, зондирующий радиосигнал распространяется в грунте, который характеризуется частотной дисперсией диэлектрической проницаемости компонентов этого грунта в указанном выше диапазоне частот. Сам грунт состоит из твердых фракций (песок, ил, глина), воды в различных состояниях (лед, свободная вода, связанная вода, кристаллическая вода), пор заполненных воздухом или иным газом. Наиболее значительный вклад в проявление дисперсионных свойств грунта вносит содержащаяся в нем вода и электрофизические явления на поверхности частиц грунта [1]. Влияние дисперсии диэлектрической проницаемости грунта выражается в том, что фазовая скорость и удельное затухание зондирующего радиосигнала изменяются в зависимости от частоты этого радиосигнала. Это явление проявляется в виде искажения результатов зондирования [1; 2]. На рис. 1 представлена блок-схема подповерхностного радиозондирования.

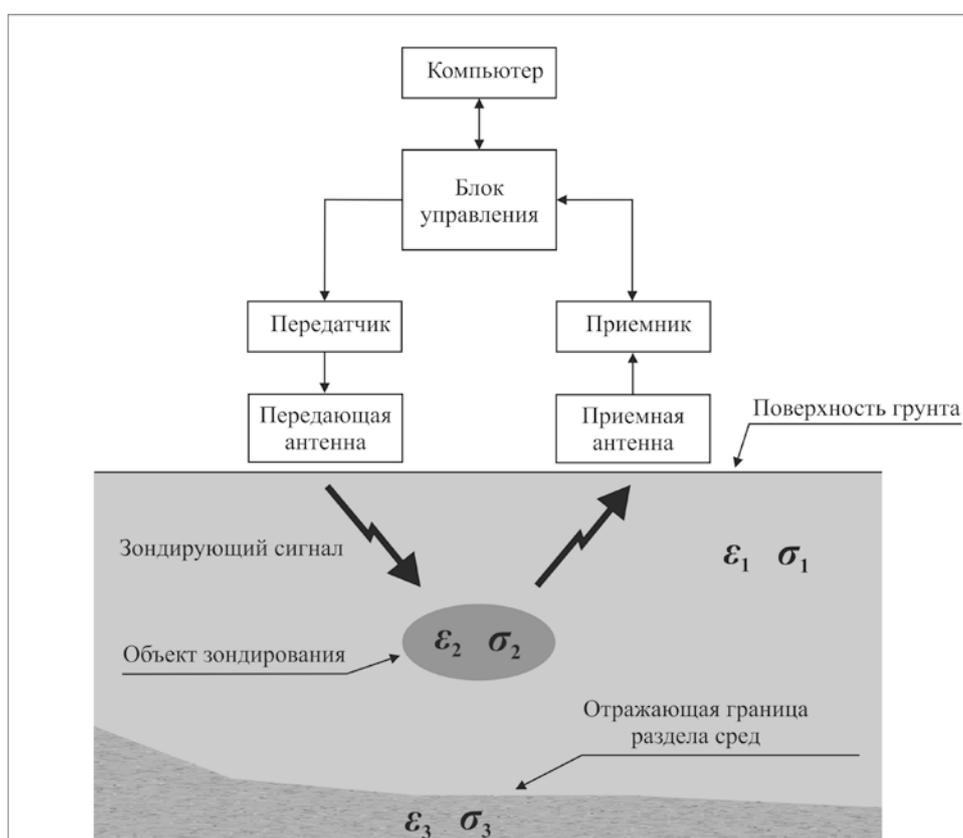


Рис. 1. Блок-схема подповерхностного радиозондирования.

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ – диэлектрическая проницаемость первого слоя подповерхностной среды, объекта зондирования и второго слоя подповерхностной среды, соответственно. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – проводимость первого слоя подповерхностной среды, объекта зондирования и второго слоя подповерхностной среды, соответственно

В георадиолокации, в основном, в качестве зондирующего сигнала используется радиоимпульс без высокочастотного заполнения (видеоимпульс), имеющий относительную полосу спектра близкую к единице. Метод,

основанный на этом принципе, называется видеоимпульсным методом подповерхностного зондирования и в настоящее время широко используется [1; 2]. Для видеоимпульсного метода измерение толщины слоя или расстояния до объекта основано на определении времени распространения зондирующего сигнала, отраженного от границ слоя или объекта. При использовании видеоимпульсного метода практически невозможно учесть дисперсию диэлектрической проницаемости грунта.

Наиболее перспективным, с точки зрения учета влияния дисперсии диэлектрической проницаемости грунта на результаты зондирования, представляется применение в качестве зондирующего радиосигнала радиосигнал со ступенчатым изменением несущей частоты [3; 4]. Ступенчато изменяющийся зондирующий радиосигнал представляет собой последовательность когерентных монохроматических радиоимпульсов, частота которых увеличивается от импульса к импульсу посредством фиксированного приращения частоты Δf как представлено на рис. 2.

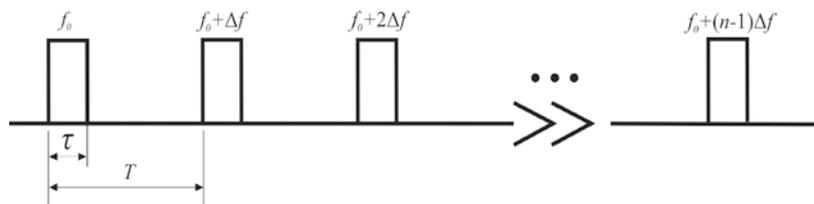


Рис. 2. Последовательность когерентных радиоимпульсов

T – период следования радиоимпульсов, τ – ширина радиоимпульса. Частоту n – го импульса можно записать как:

$$f_n = f_0 + n\Delta f, \quad (1)$$

где f_0 – начальное значение несущей частоты. На каждом частотном шаге, фаза отраженного от объекта сигнала задерживается относительно падающей волны на величину φ :

$$\varphi = 2\pi \frac{2df_n}{v(f_n)}, \quad (2)$$

где: d – расстояние до подповерхностного объекта; $v(f_n)$ – фазовая скорость распространения электромагнитной волны в грунте на текущей частоте зондирования. Фазовая задержка преобразуется во входном квадратурном детекторе приемника георадара в квадратурные составляющие (первичные данные), измеренные значения которых, методом преобразования Фурье (прямого или обратного), могут быть представлены, соответственно, в частотной (спектр) или временной (синтезированные импульсы) областях. Визуализация полученного спектра в частотной области или расположения на временной оси синтезированных импульсов во временной области, характеризует физическую структуру грунта по глубине [3; 4].

В общем виде, зависимость фазовой скорости электромагнитной волны от электрических параметров грунта, можно представить в таком виде [4]:

$$v(f) = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu\varepsilon(f)}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2(f)}{(2\pi f\varepsilon(f))^2} + 1} \right]}}, \quad (3)$$

где: μ – магнитная проницаемость грунта, принимается равной единице; $\varepsilon(f)$ – диэлектрическая проницаемость грунта на частоте f ; $\sigma(f)$ – проводимость грунта на частоте f . Таким образом, задавая в формуле (3) электрические параметры грунта, а именно его диэлектрическую проницаемость и проводимость на каждом частотном шаге, мы получаем значения фазовой скорости электромагнитной волны на каждой частоте зондирования. Это дает возможность учитывать частотно-зависимые параметры грунта при обработке данных подповерхностного зондирования и достоверно интерпретировать полученные результаты. Электрические параметры грунта рассчитываются в соответствии с выбранной моделью диэлектрического смешивания компонентов грунта [5]. Выбор модели смешивания является одной из наиболее важных составляющих применительно к этому методу подповерхностного зондирования. В модели диэлектрического смешивания учитываются такие параметры грунта, как: процентный состав твердых фракций грунта и их электрические параметры, пористость грунта, влажность грунта. Обоснование выбранной модели диэлектрического смешивания применительно к конкретному грунту является сложной задачей. На данный момент известны различные модели смешивания. Knoll в своей работе [5] разделил их на пять категорий: эмпирическая, феноменологическая, формула объемного смешивания, теория эффективной среды, полуэмпирические модели.

Таким образом, перспективным направлением в георадиолокации можно считать следующее: разработка достоверных моделей диэлектрического смешивания грунта и использование этих моделей при обработке результатов полученных методом многочастотного подповерхностного зондирования.

Список использованных источников:

1. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. – М.: Недра, 1986. – 128 с.
2. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
3. Step-frequency radar // K. Iizuka, A.P. Freundorfer, K.H. Wu et al. – Journal of Applied Physics. – 1984. – Vol. 56, № 9. – P. 2572–2583.
4. Сугак В.Г., Букин А.В., Джадуей А. Корреляционная функция зондирующего сигнала со ступенчатым изменением несущей частоты в условиях подповерхностного зондирования // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14, № 3. – С. 197–203.
5. Knoll M.D. A Petrophysical Basis for Ground Penetrating Radar and Very Early Time Electromagnetics: Electrical Properties of Sand-Clay Mixtures. – The University of British Columbia, 1996. – 331 p.