

Литература:

1. Электрическое зондирование геологической среды. М. МГУ, 1992, с.85-88.
2. Mihály Varga, Attila Novák and László Szarka. Application of tensorial electrical resistivity mapping to archaeological prospection // Near Surface Geophysics, 2008, 39-47.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Пятилова Анна Михайловна,

Геологический факультет МГУ, Москва anna.piatilova@mail.ru

Введение

Одной из важных задач, решаемой с помощью метода георадиолокации, является обнаружение и картирование линейно вытянутых объектов - трубопроводов различного назначения, электрических кабелей, арматуры в строительных конструкциях и т.д. Как правило, требуется определить глубины их залегания и положения в плане. В некоторых случаях требуется определить и материал, из которого эти объекты сделаны, например, выделить пластиковые и металлические трубы.

Однако в существующей практике георадиолокации используются лишь годографы дифрагированных волн, имеющих, как правило, гиперболическую форму. Анализ такого годографа проводится компарационным способом – путем сравнения с теоретическим годографом, при совпадении с которым определяется средняя эффективная скорость распространения электромагнитной волны от поверхности до верхней кромки объекта. Эти две величины вместе с положением проекции минимума гиперболы на профиль составляют весь объем информации, извлекаемой из георадиолокационной записи при возникновении дифракции. Очевидно, что далеко за рамками таких исследований остаются все вопросы, кроме позиционирования. Однако, даже при таком подходе из рассмотрения, как правило (судя по публикациям), выпадает весьма важный, хотя и простой на первый взгляд, вопрос об угле в плане между направлением профиля и простираем линейно-вытянутого объекта. Тем более что для определения направления простираения объекта, как правило, делается несколько параллельных профилей.

Дело в том, что в наиболее распространенных программных пакетах обработки георадиолокационных данных, расчет теоретической гиперболы, которая путем подбора ее параметров совмещается с осью синфазности дифрагированной волны на временном разрезе, рассчитывается исходя из строгой перпендикулярности профиля объекту. Такой подход делает этот прием

скоростного анализа универсальным для любой точки дифракции – будь то точка верхней кромки линейно вытянутого объекта, либо локальной неоднородности типа зарытой бочки, валуна, фрагмента каменной кладки и т.п.

Лучевая схема и уравнение годографа – гиперболы дифрагированной волны показаны на рис.1(а).

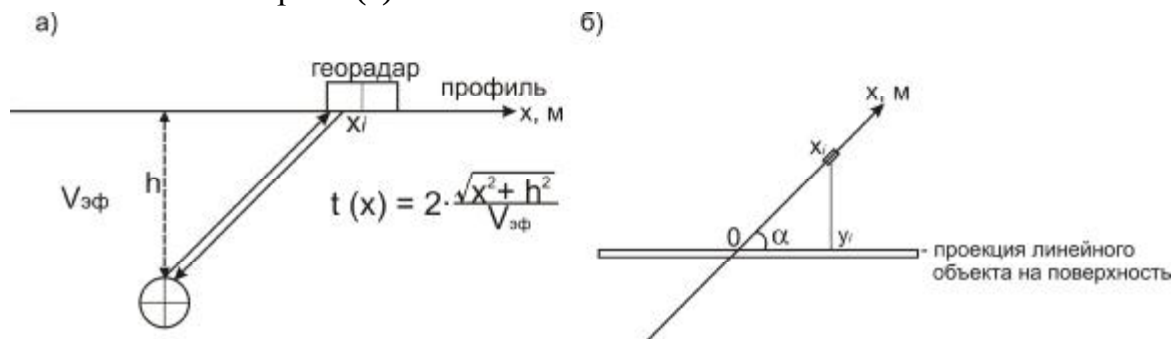


Рис.1. а) Лучевая схема и уравнение годографа гиперболы дифрагированной волны
б) Схема перпендикулярной проекции объекта на профиль наблюдения.

Использование такого подхода к скоростному анализу без учета взаимной ориентации линейного объекта и линии наблюдения – профиля по крайней мере в плане (а на самом деле в трехмерном пространстве) представляет собой грубое нарушение принципа Ферма. При таком подходе не реализуется экстремум (минимум) времени, необходимый на распространение волны, а в эффективной однородной среде и минимум расстояния между точкой излучения и приема сигнала.

На рис.1(б) изображена в плане схема перпендикулярных проекций линейного объекта на профиль наблюдения, а также кратчайшее расстояние, где будет реализована лучевая схема с рис.1(а).

Простейший учет этого обстоятельства (принцип Ферма) приводит к другой форме годографа – по определению графика зависимости времени распространения процесса от расстояния вдоль линии наблюдения:

$$t(x) = 2 \cdot \frac{\sqrt{x^2 \sin^2 \alpha + h^2}}{V_{эф}}$$

Отсюда сразу видно, что происходит в двух крайних случаях. При $\alpha=90^\circ$ - схема, формула годографа с рис.1 и наиболее распространенный вид скоростного анализа - верны. При $\alpha=0^\circ$: $t(x)=2h/V_{эф}$ и на временном разрезе будет иметь место ось синфазности более или менее горизонтальная в меру однородности среды над объектом и горизонтальности самого объекта. Иными словами, волновая картина будет напоминать волновую картину при отражении от плоской границы раздела двух сред.

При других значениях α годограф дифрагированной волны будет занимать все положение между истинной гиперболой при $\alpha=90^\circ$ и прямой линией при $\alpha=0^\circ$.

Таким образом, формальный подбор теоретической гиперболы под годограф дифрагированной волны дает в результате значения скорости $V_{эф}$ от истинного до бесконечности. При этом, в точке пересечения проекции объекта на поверхность профилем будут правильно определены все параметры: глубина до верхней кромки объекта и координаты этой точки в плане.

Опираясь на вышесказанное, можно сделать следующие промежуточные выводы:

В случае отсутствия хотя бы приблизительной информации об источнике дифракции (простираение линейного объекта, вообще наличие линейного объекта на площадке) появление на георадарограмме гиперболических осей синфазности позволяет уверенно лишь локализовать его в пространстве путем сравнения с теоретической гиперболой.

Для выяснения характера дифрагирующего объекта – линейный или локальный, а также для получения значения скорости в среде от поверхности до дифрагирующего объекта, необходимо проложить над точкой максимума гиперболы несколько профилей с разными азимутами в диапазоне углов 90° . Минимальное из полученных при этом значений $V_{эф}$ будет соответствовать направлению, перпендикулярному простираению объекта. В случае неизменных значений скоростей для всех азимутов объект должен быть признан локальным.

Для подтверждения вышеприведенных расчетов был проделан эксперимент.

Методика измерений

Для изучения дифракционных явлений, возникающих при пересечении линейно вытянутых объектов, был проведен ряд экспериментов, направленных на получение от них дифракции при прохождении профилей под различными углами к длинной оси объекта. В ходе эксперимента использовался георадар «ОКО» производства фирмы ООО «Логис» с антенной 1700 МГц. При этой методике длина волны составила около 10 см и на георадарограммах должны были появиться гиперболы дифрагированных волн. В качестве исследуемых объектов были выбраны: железная ($d=3,5$ см) и пластиковая ($d=5$ см) трубы и прутки железной арматуры ($d=2$ см). Объекты помещались в разрез, сложенный песчаными отложениями. Так как исследования проводились в течение нескольких часов, можно считать, что электрофизические свойства вмещающей среды практически не менялись. Во всех экспериментах профили проходились под различными углами к исследуемому объекту. Длина профилей составила 1 м.

В процессе проведения полевых наблюдений ошибка в измерении угла прохождения профиля не превышала $\pm 3-4^\circ$. Кроме того, при непрерывной

записи могли возникнуть ошибки, связанные с неравномерностью записи. Но данные погрешности не оказывают большого влияния на конечный результат.

При обработке данных средняя скорость в среде и глубина до объекта определялась по гиперболам дифрагированных волн. Полученные гиперболы оцифровывались по трассам для последующего сравнения с теоретически рассчитанными гиперболами.

Обсуждение результатов

В Таблице 1 представлены измеренные значения скоростей, глубин залегания объекта и значения диэлектрической проницаемости, полученные при прохождении профилей под различными углами к длинной оси железной трубы.

Таблица 1.

железная труба	угол, в градусах	V, см/нс	Глубина, м	□	t0, нс
	0	-			3,43
	15	-			3,43
	30	24,4	0,48	1,5	3,43
	45	19,7	0,34	2,3	3,43
	60	15,7	0,27	3,7	3,43
	75	14,6	0,25	4,2	3,43
	90	13,6	0,23	4,9	3,43

Как следует из представленных в таблице данных, скорость волн в среде существенно уменьшается при увеличении угла. И на профиле, пройденном под углом 90°, полученные данные о глубине до объекта соответствуют истинным, а потому измеренную скорость в среде можно считать реальной.

Данные, полученные при профилировании над пластиковой полый трубой, подтверждают выводы об изменении формы гипербол при увеличении угла прохождения профиля относительно длинной оси трубы. При увеличении угла пересечения профиля и трубы скорость уменьшается, а глубина до объекта близка к истинной только при угле в 90°.

Помимо определения скоростей дифрагированных волн и определения глубины залегания объектов, существует вопрос об определении по динамическим характеристикам дифрагированной волны материал трубы и заполнителя.

Как показано в работе [3] пластик является слабым отражателем по сравнению с железом, а потому амплитуда сигнала от пластиковой трубы более слабая, чем от железной. При этом, как показывают авторы, амплитуда первой фазы над железным объектом положительная, а над пластиковым — отрицательная. Это же явление подтверждается моделированием в акустическом приближении, где фаза волны определяется контрастом диэлектрической проницаемости между вмещающей средой и материалом дифрагирующего

объекта. В процессе обсуждаемого в статье эксперимента получен аналогичный результат (рис. 2).

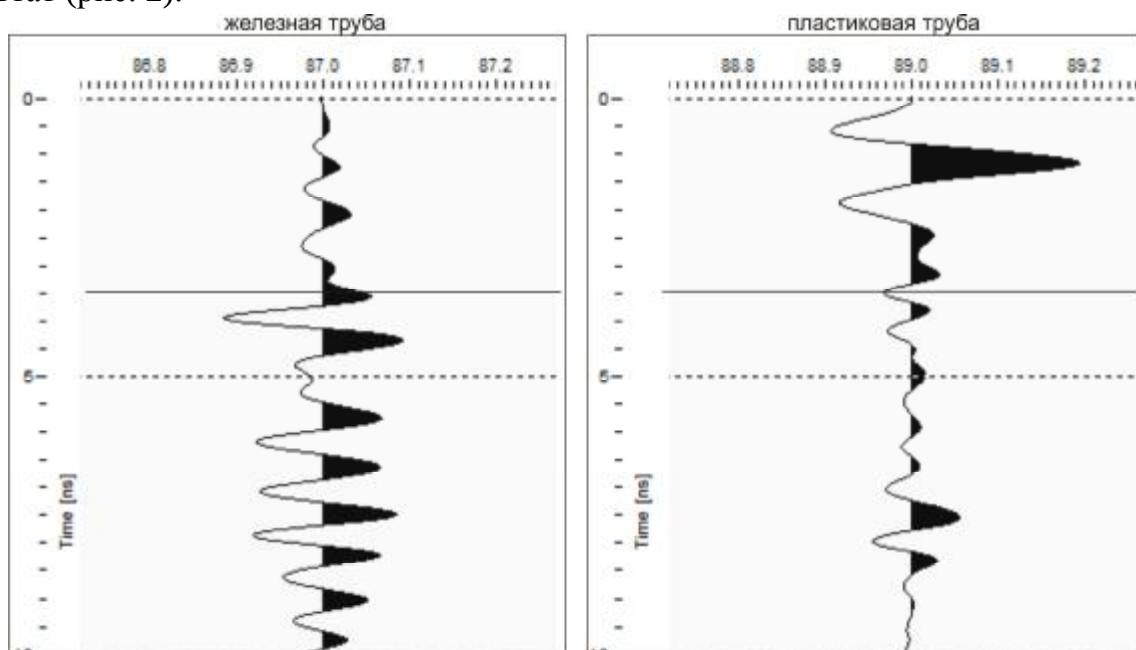


Рис. 2. Изменение первой фазы дифрагированной волны с положительной на отрицательную при прохождении профилей над железной и пластиковой трубами (линией показана первая фаза дифрагированной волны).

Заключение

Проведенные экспериментальные и натурные наблюдения на различных объектах позволяют сделать следующие выводы:

При прохождении профилей над линейно вытянутыми объектами под разными углами относительно длинной оси объекта, наблюдается уменьшение скорости в среде и, соответственно, определяемой глубины по гиперболам дифрагированных волн при увеличении угла от 0° до 90° . Только на профилях, пройденных под углом 90° к объекту, определяемые скоростные параметры среды и глубину до объекта можно считать истинными.

Экспериментальные гиперболы дифрагированных волн, выделенные на профилях, практически совпадают с теоретически рассчитанными. Незначительные ошибки вызваны погрешностями при оцифровке гипербол.

На профилях, пройденных над железной трубой первая фаза дифрагированной волны – положительная, а на профилях, пройденных над пластиковыми объектами – отрицательная. Данный вывод выявляет некоторые особенности записи над различными объектами, но еще не дает окончательного решения проблемы определения материала объекта по динамическим характеристикам записи и требует дальнейших исследований.

Литература:

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Издательство МГУ, 2005, с.153.
2. Soldovieri F., Crocco L., Pettinelli E., Redman D.J., and Annan A.P., 2008, Microwave tomography based characterization of buried plastic pipe filled with different fluids: an experimental study. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, WE2.101.
3. Uduwawala D., Norgren M., and Fuks P., 2005, A complete FDTD simulation of a real GPR antenna system operating above lossy and dispersive grounds: Progress In Electromagnetics Research, PIER 50, 209–229.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАРОТАЖНЫХ ДАННЫХ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ЗАШУМЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Родина Светлана Николаевна

Геологический ф-т ВГУ, Воронеж, RodinaSvetlana@mail.ru

В работе описывается возможность применения искусственного зашумления обучающего множества при применении нейронных сетей для интерпретации данных ГИС в условиях их дефицита. Ранее нами были проведены исследования, которые показали, что искусственная нейронная сеть в принципе позволяет решить задачу литологического расчленения [1].

В геологическом строении изучаемого района можно выделить 2 структурных этажа, различающиеся по литологии и физическим свойствам: терригенный и карбонатный, более подробное описание можно найти в работе [1]. Для создания нейронной сети необходимо обеспечить возможность её обучения. Для этого требуется достаточное количество разнообразных данных. Однако, в условиях имеющегося разреза по скважине нельзя было выбрать фрагмент, который был бы вполне представительным.

Дефицит исходных материалов является большой проблемой при решении задач с помощью нейросетей, т.к. для её обучения необходимо 3 набора данных: обучающий, тестовый и контрольный [2]. В процессе работы был доступен ограниченный набор материалов ГИС по двум скважинам. Дополнительное бурение на данном участке не проводится, иных скважин нет. Данные со скважины № 1 использовались в качестве обучающих, тестовых и контрольных, а со скважины № 2 – были зарезервированы для проверки результатов работы сети.

Недостаток исходных данных не давал нам возможности создать достаточно сложную сеть, которая бы качественно распознавала литологические