

УДК 550.837.2: 550.8.05

В.В. Капустин¹, А.Ю. Хмельницкий², Д.В. Бакайкин³

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Очень плотная городская застройка, а также усиленное освоение подземного пространства накладывают существенные ограничения на возможность применения традиционных методов обследования зданий и сооружений (бурение, шурфование). В связи с этим встает задача поиска и применения методов, не разрушающих исследуемые объекты. Одним из таких методов является подповерхностная георадиолокация.

Ключевые слова: подповерхностная георадиолокация, неразрушающий контроль, диагностика строительных конструкций, инженерные геофизические изыскания, неоднородные электромагнитные волны.

Very compact town planning and intensive absorption of underground impose essential constraints on possibility of traditional methods application in buildings and constructions inspection (such as drilling and pit sampling). In this case becomes the problem of searching and usage nondestructive control methods. One of this methods is ground penetrating radar.

Key words: ground penetrating radar, nondestructive inspection, building structure diagnostics, engineer geophysical investigations, nonhomogeneous electromagnetic waves.

Введение. В последнее время работы по реконструкции зданий и сооружений ведутся довольно широким фронтом, причем особо сложные и ответственные работы производятся по реконструкции и строительству объектов, находящихся в исторических районах городов. Обусловлено это не только наличием многочисленных памятников истории и архитектуры, но и весьма сложными и специфичными инженерно-геологическими условиями, а также исключительно высокой плотностью существующей застройки территории, значительным развитием разнообразных подземных сооружений и коммуникаций, а также тем, что обследуемые сооружения находятся в эксплуатации. Последнее обстоятельство существенно ограничивает возможности применения способов, традиционно используемых при выполнении обследований и изысканий, таких как производство вскрытий, бурение скважин и т.п. В связи с этим представляется перспективным использовать геофизические методы, которые можно применять для решения широкого круга задач, начиная от изучения инженерно-геологических условий на участках строительства и реконструкции сооружения, оценки свойств грунтов под фундаментом сооружения и заканчивая изучением самого фундамента и стен здания.

При обследовании существующих зданий довольно часто возникает задача определения глубины фундамента. К настоящему моменту для исследования фундаментов авторами статьи опробованы различные акустические методы [Капустин, 2008а, б,

в, 2009; Черняков и др., 2008]. Однако проведение работ с использованием этих методов сталкивается с техническими трудностями — невозможностью разместить пункты удара и приема на поверхности зданий, оборудовать наблюдательную скважину и т.п. Поэтому нужен способ, который позволял бы решать поставленную задачу с поверхности земли, не нарушая целостность строительных конструкций и грунтового массива. В качестве такого способа предлагается георадарное обследование с использованием «направляемых» электромагнитных волн.

Постановка проблемы. Известно, что «направляемые» электромагнитные волны возникают при падении волны на направляющую поверхность раздела под углом, превышающим угол полного отражения (критический) [Семенов, 1973]. Необходимо, чтобы вторая среда была оптически менее плотной, чем первая. При выполнении этих условий угол преломления становится комплексным, а преломленная волна имеет составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной границе. Тогда вектор Умова—Пойнтинга параллелен границе и образуется так называемая направляемая (поверхностная, «замедленная», неоднородная) волна, а граница сред становится направляющей системой [Капустин, 2010]. При обследовании строительных конструкций методом георадиолокации может возникать подобная ситуация, следовательно, могут быть и условия, при которых появляются «направляемые» волны.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, канд. физ.-мат. н., *e-mail:* 1391854@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, магистрант, *e-mail:* khmelnitsky2003@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, аспирант.



Рис. 1. Раздельная антенная система 750 МГц георадара «Zond 12-C»

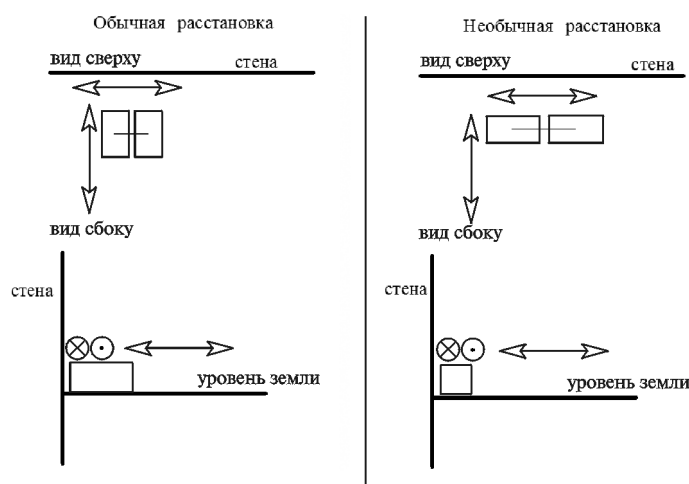


Рис. 2. Схема полевых наблюдений

Грузинский вал, дом 16

Шурф Обычная расстановка Необычная расстановка

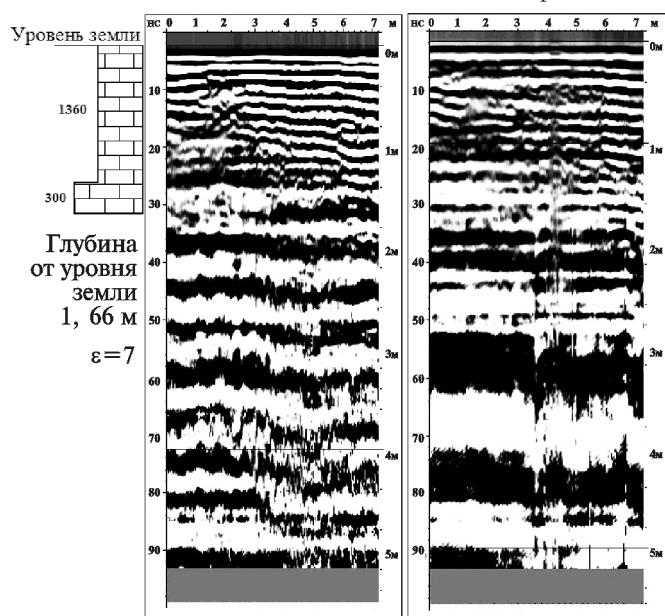


Рис. 3. Георадарные профили вдоль фасада дома по адресу ул. Грузинский Вал, д. 16 («Zond 12-C», антенна 750 МГц)

Такая ситуация возникает при проведении георадарных работ вблизи зданий. Граница грунта и фундаментных конструкций, как правило, представляет собой границу понижения оптической плотности. Можно предположить, что при прохождении георадарного профиля по поверхности земли вблизи стены дома могут возникнуть условия для возбуждения «направляемых» волн, а фундамент будет выполнять роль направляющей системы. Тогда, если имеется возможность регистрировать этот тип волн, можно пытаться определить отражения от подошвы фундамента, от дефектов в фундаменте, от конструктивных элементов фундамента и т.п. Это позволит решать разнообразные задачи, возникающие при обследовании фундаментов (например, определение глубины заложения фундамента, нахождение дефектов в фундаменте, изучение состояния контакта фундамент—грунт и т.п.).

Материалы и методы. Для изучения возможностей рассматриваемого способа авторами проведен ряд экспериментов на объектах Москвы. При полевых измерениях использовали георадар «Zond 12-C» и экранированную антенную систему с центральной частотой 750 МГц. Антенны дипольные, раздельного типа, что позволяет изменять поляризацию антенн и разносить их на разное расстояние по профилю (рис. 1). Возможность изменять поляризацию — важное условие, поскольку диаграмма направленности антенн обеспечивает неравномерный прием сигнала по разным направлениям.

При полевых исследованиях наблюдения проводились в ходе непрерывного профилирования. Антенны располагали на расстоянии 0,65 м одна от другой. Профилирование проводилось в бесконтактном режиме. Известно, что скорость направленной волны зависит от угла падения:

$$V_n = v/\text{ch}\alpha,$$

где v — скорость падающей волны, α — угол падения [Семенов, 1973]. Поэтому профили располагали вдоль и перпендикулярно стене дома по поверхности земли.

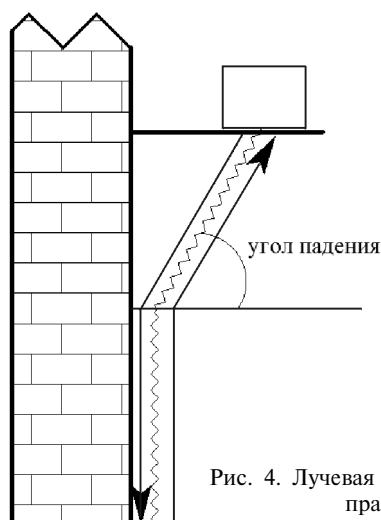


Рис. 4. Лучевая схема распространения «направленной» волны

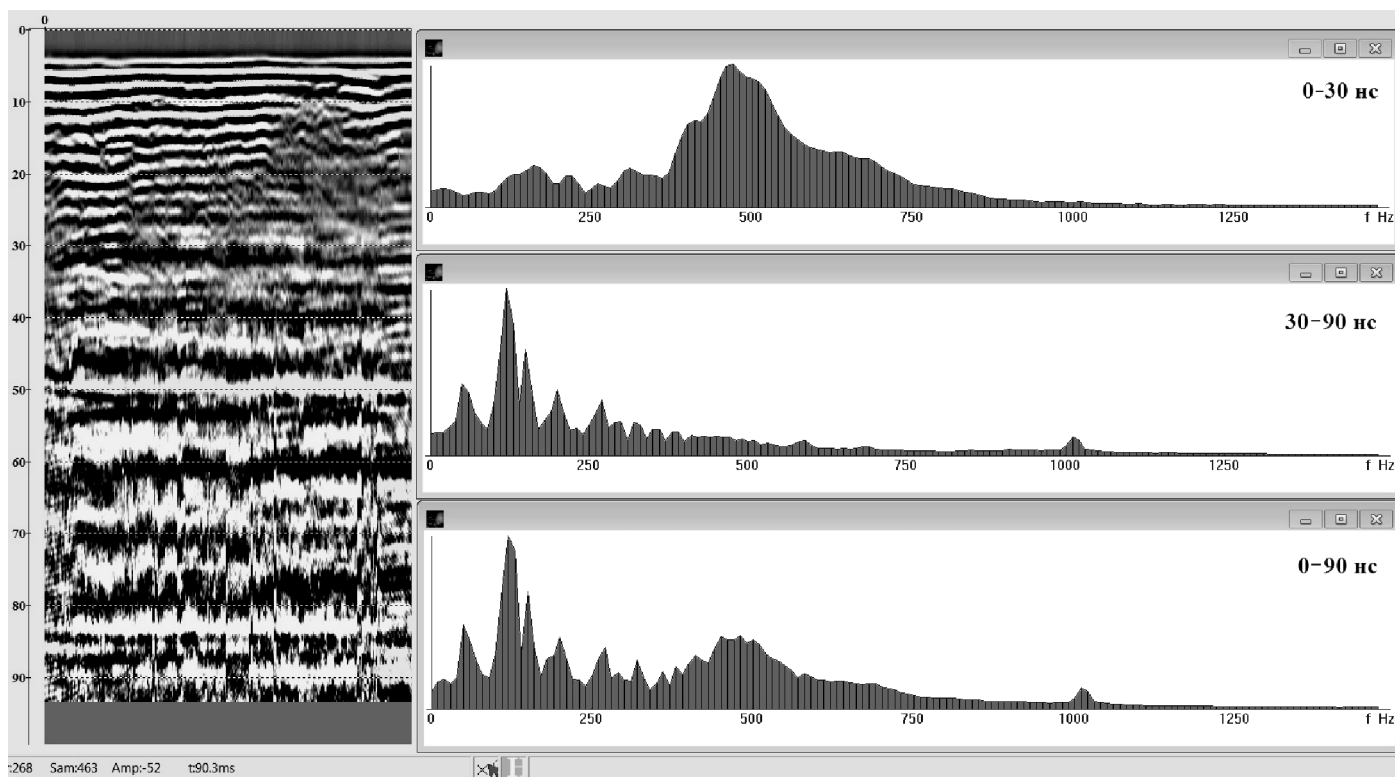


Рис. 5. Спектральный состав георадарной записи вблизи стены

Измерения проводили в двух режимах поляризации (рис. 2). Поляризация, при которой оси диполей располагали перпендикулярно стене, условно названа «обычной», а если оси располагали параллельно стене — «необычной».

Георадарные наблюдения проводили вблизи зданий с фундаментами ленточного типа, глубина залегания подошвы которых составляла от 1,5 до 3,5 м. Измерения проведены на 9 объектах подобного типа. При проведении измерений получены георадарные записи, на которых наблюдалась волновая картина, подобная приведенной на рис. 3.

В результате установлено, что начиная с определенной глубины (времени регистрации) волновая картина заметно меняется. Высокочастотная составляющая исчезает и появляется низкочастотная незатухающая компонента. Особенность такого типа записи — яркая динамическая выраженность (рис. 3). Подобное изменение характера волнового поля можно объяснить вступлением неоднородной («направляемой») волны, отраженной от подошвы фундамента. Для определения скорости распространения электромагнитных волн использовали годографы дифрагированных волн.

Если предположить, что высказанная гипотеза верна и на волновой картине наблюдается отражение, то можно определить, на какой глубине находится граница. Лучевая схема предполагаемого распространения «направленной» волны представлена на рис. 4. При сопоставлении полученных материалов с данными по шурфам на этих же объектах обнаружено, что при значении относительной диэлектрической прони-

цаемости, равном 7–8, определенном по годографам дифрагированных волн, начало низкочастотной части записи соответствует границам в фундаменте (пол подвала или нижняя граница фундамента).

По полевым записям рассчитаны спектры в разных частотных интервалах, выяснилось, что низкочастотная составляющая присутствует во всем временном интервале. Однако, начиная с некоторой глубины, высокочастотная составляющая практически исчезает и остается только низкочастотная. Как показали проведенные измерения, для используемой антенны 750 МГц граница низкочастотной области имеет значение 50–60 МГц, а в отдельных случаях доходит до 100–120 МГц, тогда как область повышенных частот составляет 300–600 МГц (рис. 5). Аналогичная картина наблюдалась и при измерениях на других объектах.

Изменение поляризации антенн заметно влияет на регистрируемую волновую картину — при «необычной» расстановке антенн низкочастотная составляющая выражена более явно, чем при «обычной» расстановке (рис. 6). Это объясняется тем, что при «необычной» ориентации плоскости поляризации антенн создаются условия для возбуждения и регистрации неоднородной волны. При «обычной» расстановке возбуждение неоднородной волны происходит за счет «боковых» лепестков диаграммы направленности антенны.

Заключение. Таким образом, в результате экспериментов установлено, что при проведении подповерхностных георадарных работ вблизи вертикальных границ наблюдаются описанные выше эффекты, ко-

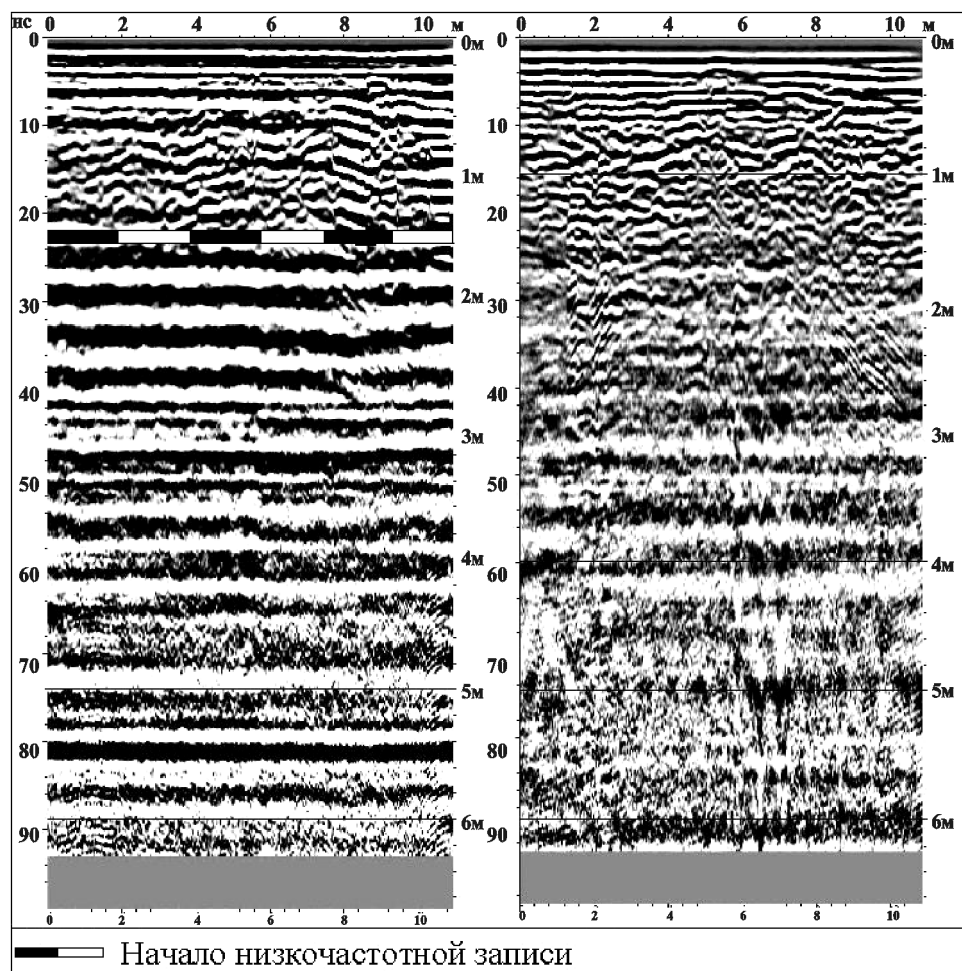


Рис. 6. Профилирование вдоль дома по адресу: ул. Большая Якиманка, д. 37/1 («Zond 12-С», антенна 750 МГц)

торые можно использовать, в частности, для изучения строения ленточных фундаментов зданий. В пользу гипотезы «направляемых» волн свидетельствует повторяемость результата при исследованиях на различных объектах, а также сходство наблюдаемой картины с аналогичной в сейсморазведке. Однако условия возникновения такого типа волн и влияние на этот процесс поляризации антенн требуют дальнейшего изучения. Можно надеяться на перспективность

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Капустин В.В. Дополнительные возможности компьютерной обработки георадарных и сейсмических данных // Разведка и охрана недр. 2005. № 12. С. 26–31.

Капустин В.В. Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций // Технологии сейсморазведки. 2008а. № 1. С. 91–99.

Капустин В.В. Методика изучения особенностей распространения акустических волн в бетонных сваях с использованием методов численного моделирования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2008б. № 3. С. 65–70.

Капустин В.В. Акустические методы контроля качества свайных фундаментных конструкций // Разведка и охрана недр. 2008в. № 12. С. 12–15.

Капустин В.В. Применение волновых методов для определения длины свай // Технологии сейсморазведки. 2009. № 2. С. 113–118.

этой методики, поскольку результаты, полученные с ее помощью, подтверждаются данными по шурфам. Для практического применения предлагаемой методики и успешной интерпретации данных необходима разработка антенных систем для целенаправленного возбуждения и приема «направляемых» волн, а также специализированных способов обработки сигналов для лучшего выделения целевой волны [Капустин, 2005, 2008а–в].

Капустин В.В. Образование поверхностной неоднородной волны в зоне излучения антенн георадара // Геофизика. 2010. № 3. С. 27–31.

Капустин В.В., Строчков Ю.А. Некоторые особенности обработки георадарных данных при исследовании строительных конструкций // Разведка и охрана недр. 2008. № 1. С. 22–25.

Капустин В.В., Ушаков А.Л., Бакайкин Д.В. Применение акустических методов для обследования строительных конструкций // Разведка и охрана недр. 2008. № 1. С. 25–28.

Семенов Н.А. Техническая электродинамика. М.: Связь, 1973.

Черняков А.В., Богомолова О.В., Капустин В.В. и др. Контроль качества геотехнических конструкций, созданных методом струйной цементации // Технологии сейсморазведки. 2008. № 3. С. 97–103.