

УДК [550.834+550.837.76]:62-217

**Д.И. Блохин, А.С. Вознесенский, И.И. Кудинов,
В.В. Набатов, В.И. Шейнин**

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ

Описывается опыт использования георадиолокационных, сейсмоакустических и ультразвуковых методов неразрушающего контроля для определения толщины железобетонных фундаментных плит.

Ключевые слова: георадиолокационный, сейсмический и ультразвуковой методы, электромагнитные упругие волны, бетонные плиты фундамента, тестирование параметров.

Одной из распространенных задач в исследовании строительных конструкций является определение геометрических параметров конструктивных элементов для сопоставления их с проектными данными. Для решения таких задач интерес представляет возможность использования методов неразрушающего контроля [1 – 3]. В настоящем сообщении представлены результаты оценки толщин железобетонных фундаментных плит, полученные сотрудниками НИИОСП им. Н.М. Герсевича и кафедры ФТКП МГТУ на основе анализа данных георадиолокационных и акустических измерений на различных строительных объектах.

Описание аппаратуры

В ходе работ использовалась геофизическая аппаратура производства ООО «Логические системы»: георадары серии «ОКО – 2» с антенными блоками – низкочастотным

АБ250 и высокочастотными АБ1200 и АБ1700 (см. таблицу 1); сейсмоакустический прибор ИДС, а также ультразвуковой прибор Acoustic Concrete Tester (АСТ) производства Inspection Instruments. Для построения и обработки радарограмм использовался программный комплекс Geoscan 32, а анализ данных сейсмоакустических и ультразвуковых измерений проводился с помощью алгоритмов, реализованных в среде Mathcad.

Георадиолокационные измерения

Метод георадиолокации базируется на применении электромагнитных сверхкоротких импульсов (использу-

Таблица 1

**Технические характеристики антенных
блоков георадара «ОКО – 2»**

Антенный блок	Частота излучаемого сигнала, МГц	Глубина, м	Разрешающая способность, см
АБ250	250	8	25
АБ1200	1200	1,5	5
АБ1700	1700	1	3

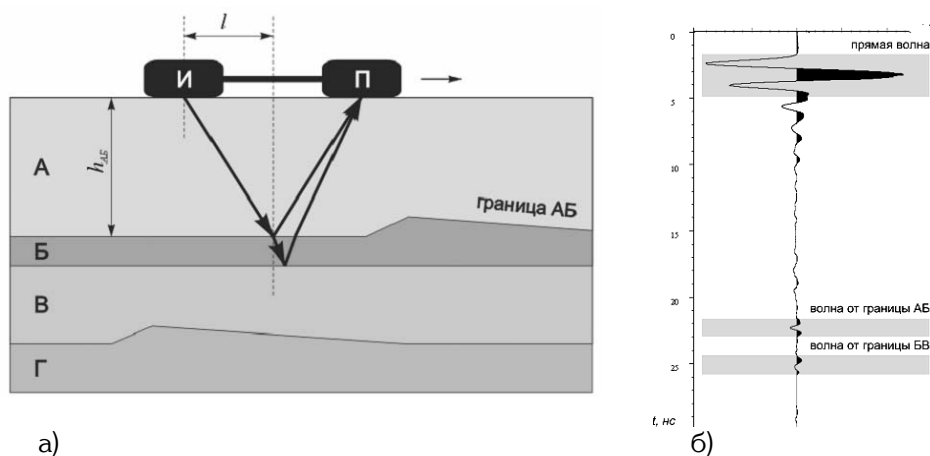


Рис. 1. Метод георадиолокации: а) ход волны в геомассиве; б) запись одной трассы

ются частоты от первых десятков МГц до первых единиц ГГц). В основе метода лежит различие строительных материалов или горных пород по диэлектрической проницаемости ϵ . Излучаемый георадаром зондирующий импульс, распространяясь в обследуемой среде или объекте, отражается от границ, на которых меняются электрические свойства. Результат измерений – волновая картина (радарограмма) представляет собой ансамбль записей сигналов (трасс), пришедших к приемной антенне в интервал времени от момента посылки зондирующего импульса до конца интервала записи (см. рис. 1).

В качестве примера опишем методические аспекты и результаты георадиолокационного обследования с целью уточнения фактической толщины монолитной железобетонной фундаментной плиты (проектная толщина плиты 90 см) под строящееся жилое здание.

Проведение и интерпретация георадиолокационных измерений на данном объекте были осложнены многочисленными помеховыми факторами, из которых, прежде всего, следует выделить армирование обследованной плиты и надповерхност-

ных объектов (частично возведенные стены и перекрытия, выпуски арматуры и др.). Поэтому предварительным этапом работ стал поиск методических решений, позволяющих минимизировать влияние различных помех и тем самым повысить достоверность интерпретации результатов измерений.

При зондировании армированного бетона импульсами георадара могут создаваться условия для возникновения паразитных резонансных колебаний электромагнитного поля в ячейках арматуры. Такие эффекты приводят к появлению на радарограммах так называемых "звонов" – шумовых записей, обладающих большой амплитудой и длительностью [1, 4]. Как показали тестовые измерения, проведенные непосредственно на объекте исследования, наиболее сильная зашумленность регистрируемых записей проявляется при использовании низкочастотных излучателей.

На рис. 2 представлен результат съемки профиля, пройденного с помощью низкочастотного антенного блока АБ250 георадара серии «ОКО – 2» по поверхности железобетонной плиты. На радарограмме

можно наблюдать сплошную «звонящую» запись.

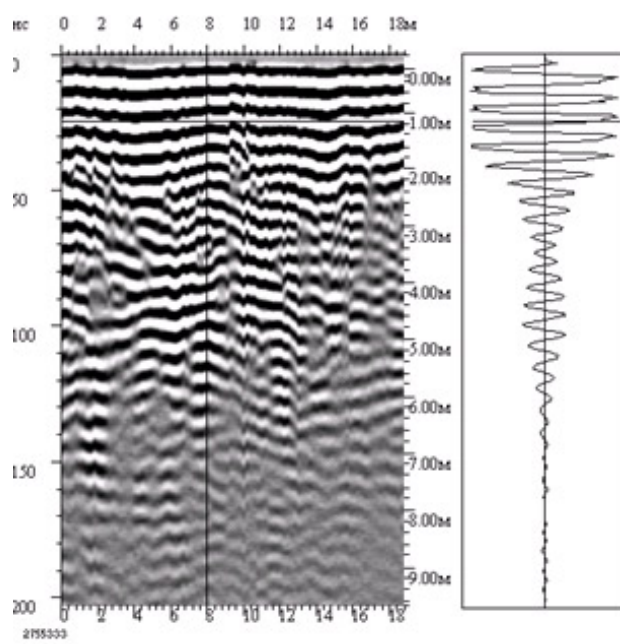


Рис. 2. Помехи от арматурной решётки фундаментной плиты при использовании низкочастотной антенны

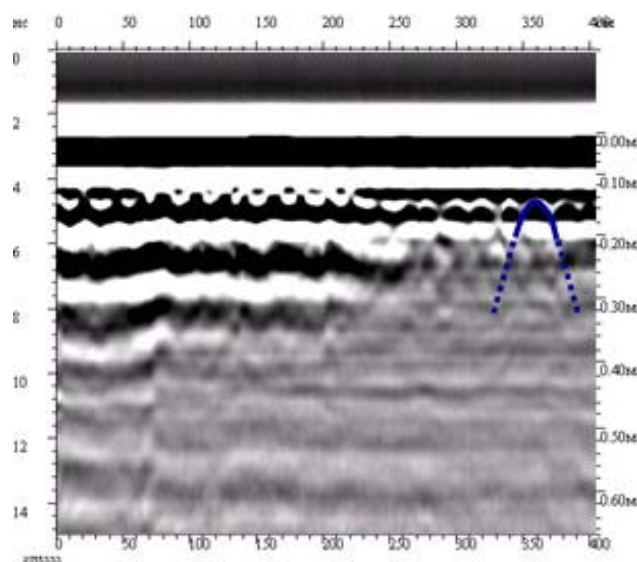


Рис. 3. Гиперболические оси синфазности от арматуры при использовании высокочастотной антенны

Справа от радарограммы показана одна из трасс соответствующего профиля.

Проблема влияния армирования была решена использованием высокочастотных антенн (АВ1200). В этом случае армирование плиты на радарограммах выглядит как последовательный ряд локальных объектов, выделяющихся гиперболическими осями синфазности (см. рис. 3). Поскольку обследуемая фундаментная плита имела толщину до 1 м, то ограничение по глубинности для высокочастотных антенн проблемным фактором не явилось.

Так как антенный блок георадара излучает не только в нижнее (тело плиты), но и в верхнее полупространство, другой существенной проблемой является влияние отражения электромагнитных импульсов от надповерхностных объектов (далее НПО). Поскольку затухание электромагнитных волн в воздушной среде гораздо меньше, чем в железобетоне или грунтовом массиве, то отражённые от стен, перекрытий и прочих НПО волновые пакеты приходят на принимающую антенну с большей амплитудой, чем сигналы отраженные непосредственно от подошвы плиты или неоднородностей в ее теле. В результате наложения этих помеховых отражений на полезный сигнал интерпретация полученных радарограмм становится затруднительной. Экранирование приёмных антенн по ряду

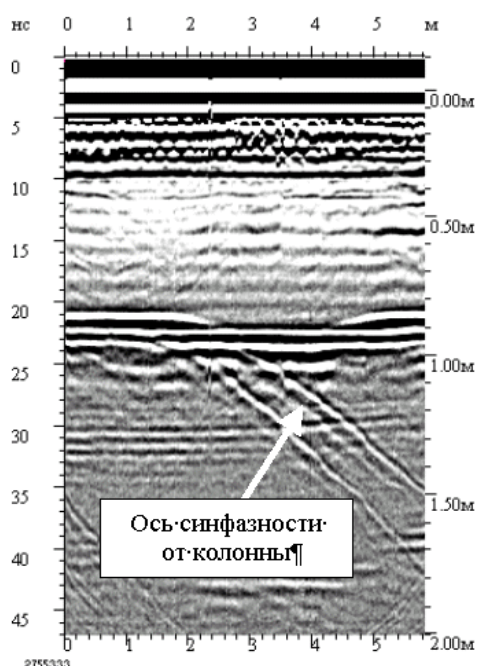


Рис. 4. Проявление надповерхностных объектов на радарограмме

причин не позволяет решить эту проблему достаточно эффективно [1].

Тем не менее, существуют приемы, основанные на анализе графически представленных на радарограммах кинематических особенностей распространения электромагнитных волн, позволяющие отличить полезные отражения от помеховых.

Известно, что различные НПО, находящиеся вблизи от профиля георадиолокационных измерений, предстают на радарограммах в виде специфических осей синфазности, форма которых зависит от скорости электромагнитной волны в среде [1].

Например, отражения от стен, расположенных перпендикулярно профилю съёмки, проявляются как наклонные квазилинейные оси синфазности, угол которых также зависит от кинематических особенностей распространения волн, а локальные НПО (колонны и т.п.), как гиперболические (см. рис. 4).

Отражения от перекрытий возведённых над плитой проявляются в виде «идеально» горизонтальных осей синфазности. В то время как отражения от горизонтальной границы в нижнем полупространстве (например, от границы «плита-грунт») создают ось синфазности с некоторыми колебаниями по вертикали, что связано с неоднородностью электрических свойств вмещающего массива.

В этой связи необходимым элементом измерений является привязка пройденных георадиолокационных профилей к расположению имеющихся надповерхностных объектов для последующей интерпретации потенциальных шумовых отражений с учётом диаграммы направленности антенн.

С учетом всех вышеперечисленных факторов на обследуемой плите было пройдено несколько профилей георадаром серии «ОКО – 2» с антенным блоком АБ1200 и дана интерпретация полученных данных. На рис. 5 представлена характерная радарограмма, полученная в результате измерений.

При определении отметки подошвы фундаментной плиты было принято характерное для данного класса бетона [1] значение действительной части диэлектрической проницаемости $\varepsilon' = 10$.

Так же для повышения информативности описываемых измерений важным элементом методики стало использование «способа накопления», т. е. увеличения количества электромагнитных импульсов (до нескольких тысяч), испускаемых антенным блоком в тело плиты, и последующего осреднения регистрируемых откликов. Такой прием увеличивает соотношение сигнал-шум для волновых пакетов, приходящих с «больших» глубин. Как показано на рис. 5 это позволяет

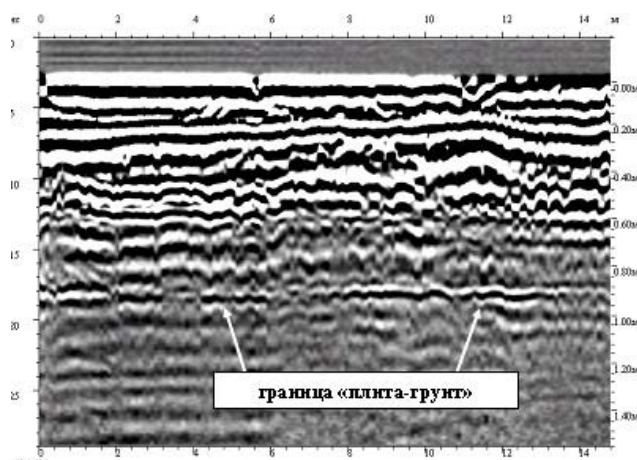


Рис. 5. Характерная радарограмма, полученная в результате измерений

фиксировать на представленной радарограмме достаточно четкую границу между элементами обследуемого объекта, обладающими существенно контрастными электрическими свойствами. Указанная граница соответствует подошве фундаментной плиты на глубине 0,9 м.

Рассмотренный пример показывает эффективность применения метода георадиолокации для контроля толщины железобетонных плит. Однако, использование высокочастотных антенн при обследовании фундаментных плит толщиной более 1,5 м ограничено их технологическими характеристиками (см. таблицу 1). Использование же низкочастотных антенн не представляется возможным из-за влияния армирования. Альтернативой применению георадаров в таких слу-

чаях являются акустические методы неразрушающего контроля.

Акустические измерения

Метод акустической (сейсмоакустической и ультразвуковой) эходиагностики, основанный на свойствах отражения акустических волн от границ сред с существенно различающимися акустическими характеристиками, достаточно широко применяется в современных системах геотехнического контроля [3, 5]. На рис. 6 представлена принципиальная схема проведения измерений

при акустической диагностике железобетонных фундаментных плит.

Приемник акустического сигнала закрепляется на одной из подготовленных площадок на поверхности обследуемой плиты, затем в приборе включается режим регистрации.

Генерация акустической волны в плите осуществляется:

- механическим ударным воздействием, в случае использования прибора ИДС;
- импульсным ультразвуковым воздействием, в случае использования прибора АСТ.

Вызванная импульсным воздействием волна распространяется от поверхности плиты и, при наличии границы раздела (например, подошвы плиты или дефекта в теле плиты), отражается от этой границы и возвращается к приемнику. Запись сигналов, поступающих на приемник, производится автоматически, хранится в памяти прибора и в текстовом формате передается в компьютер для визуализации и обработки.

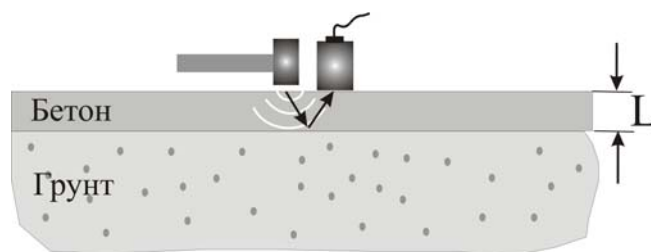


Рис. 6. Схема проведения акустических измерений

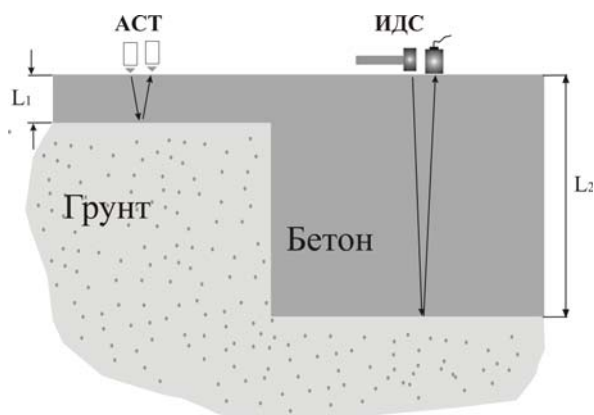


Рис. 7. Схема акустических измерений на плите переменной толщины

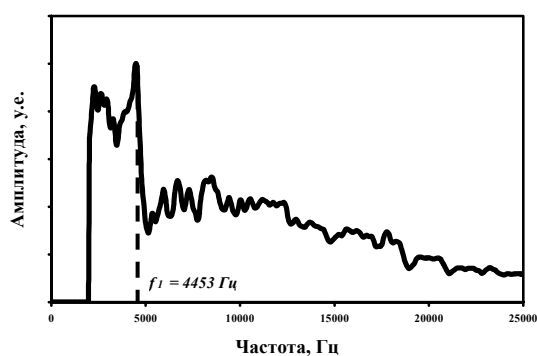


Рис. 8. Типичный спектр сигналов, полученных с помощью прибора АСТ

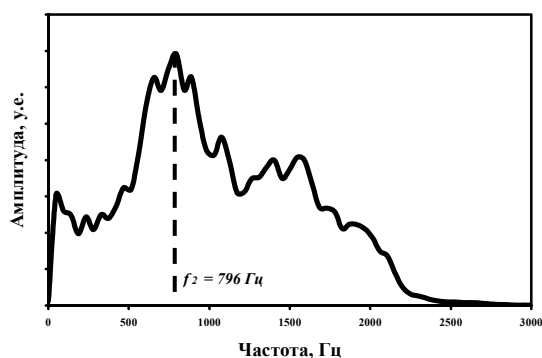


Рис. 9. Типичный спектр сигналов, полученных с помощью прибора ИДС

Объектом, результаты обследования которого представлены ниже, является железобетонная плита переменной толщины, общий вид которой представлен на рис. 7.

Сложная конфигурация тела плиты стала основным критерием для выбора аппаратуры акустических измерений. Для части плиты с толщиной $L_1 \approx 0,5$ м эффективным оказалось использование прибора АСТ, а для части плиты с толщиной $L_2 \approx 2,5$ м – прибора ИДС, что связано с техническими характеристиками используемых приборов. Так диапазон толщин определяемых прибором АСТ лежит в пределах от 0,08 до 0,95 м, а для прибора ИДС от 2 до 30 м.

Одним из подходов к расшифровке результатов акустических испытаний элементов конструкций является метод спектрального анализа [3, 5].

Результат анализа полученных спектров – выявление частоты f , соответствующей спектральному максимуму. Данный максимум проявляется за счёт основной гармоники акустической волны, возбужденной импульсным или ударным воздействием в теле плиты. Определение толщины плиты L выполняется с помощью соотношения [5]:

$$L = 0,5 \times V / f, \quad (1)$$

где L – толщина плиты, V – скорость распространения

Таблица 2

Результаты акустических испытаний

	№ точки	f , Гц	L , м
Прибор ИДС	П1	796	2,5
	П2	750	2,7
	П3	4453	0,45
Прибор АСТ	П4	3778	0,52
	П5	4217	0,47
	П6	4154	0,48

упругих волн, f – частота спектрального максимума. При расчетах значение скорости акустических волн в теле обследуемой плиты принималось равной 4300 м/с.

Вид типичного спектра зарегистрированных сигналов, полученных с помощью прибора АСТ, показан на рис. 8. На рис. 9 показан вид типичного спектра сигналов, полученных с помощью прибора ИДС.

Результаты обработки данных измерений в некоторых точках обследуемой плиты по формуле (1) приведены в табл. 2.

Результаты акустических испытаний в точках, указанных в табл. 2, были

подтверждены данными бурения, что доказывает целесообразность выбора использовавшихся методов и приборов для получения достоверной информации о толщине плиты в различных ее зонах.

Выводы

Проведенные исследования демонстрируют возможность применения современных методов неразрушающего контроля для оценки основных геометрических параметров конструкций фундаментов, в том числе при отсутствии технической документации. Тем не менее, дальнейшее развитие описанных подходов нуждается в совершенствовании, как методических, так и аппаратных решений. Необходимым представляется расширение диапазона эффективно определяемых толщин фундаментных плит, в частности, на толщины от 1,5 до 2 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С. Теория и методы георадиолокации. Учебное пособие. – М.: Изд – во «Горная книга», Изд – во МГТУ. 2008.
2. Рекомендации по применению георадиолокационных исследований в комплексе геотехнических работ. Под ред. Ильичева В.А. и Калинина В.В. – М.: 2000.
3. Калустин В.В., Ушаков А.Л., Бакайкин Д.В. Применение акустических методов для обследования строительных конструкций // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 1. – С. 25 – 28.
4. Еременко А.В., Зверев Е.О., Клепикова С.М., Монахов В.В. Георадиолокация в присутствии железобетонных конструкций // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 3. – С. 23 – 27.
5. Sansalone M. J., Street W. B. Impact-echo: nondestructive evaluation of concrete and masonry. – Bullbrier Press. 1997.
6. ASTM C 1383, "Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates using the Impact-Echo Method," 2000 Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.02, ASTM, West Conshohocken, PA. **ТАБ**

Коротко об авторах

Блохин Д.И., Вознесенский А.С., Кудинов И.И., Набатов В.В., Шейнин В.И. – Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru
ОАО «НИЦ «Строительство»

