

## **ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**



Геофизические методы уже давно достаточно успешно используются при обследовании различных инженерных сооружений. Как правило, применение геофизических методов не имеет альтернативы при обследовании недоступных для непосредственного (прямого) изучения объектов – фундаментов, подземных коммуникаций и пр. При этом геофизическое обследование может иметь целью не только на определение конструктивных характеристик изучаемых объектов (внутреннего строения, геометрии и т.п.), но и на получение информации касающейся их физического состояния.

К наиболее универсальным методам, применяемым при обследовании инженерных сооружений, относится георадиолокация. Большое разнообразие типов антенн, которыми комплектуются современные георадары (Зонд-12е, Око-2 и пр.), позволяет значительно расширить круг задач, решаемых этим методом, в том числе и за счет оптимизации разрешающей способности и глубинности исследований.

В статье приводятся примеры успешного использования георадиолокации при обследовании фундаментов инженерных сооружений, а также некоторые результаты физического моделирования, направленного на обоснование применения метода.

**Аузин Андрей Альбертович**

Заместитель директора по научной работе, начальник отдела геофизических исследований  
ООО «Акма-Универсал»

**Зацепин Сергей Александрович**

Аспирант кафедры геофизики Воронежского государственного университета

Геофизические методы достаточно успешно используются при обследовании различных инженерных сооружений. По существу, применение геофизических методов не имеет альтернативы при обследовании недоступных для непосредственного (прямого) изучения объектов – фундаментов инженерных сооружений, подземных коммуникаций и пр. При этом обследование может иметь целью не только определение конструктивных характеристик изучаемых объектов (внутреннего строения, геометрических параметров и т.п.), но и получение информации, касающейся их физического состояния.

К числу наиболее универсальных геофизических методов, применяемых при обследовании инженерных сооружений, относится георадиолокация. Большое разнообразие типов антенн, которыми комплектуются современные георадары (Зонд-12е, Око-2 и пр.), позволяет за счет оптимизации разрешающей способности и глубинности исследований значительно расширить круг задач, решаемых этим методом.

Решение инженерных задач геофизическими методами по сравнению с задачами геологического характера представляется более простым хотя бы по той причине, что, как правило, инженерные объекты имеют типовую конструкцию, которая весьма жестко регламентируется соответствующими ГОСТами, СНиПами и прочими обязательными к применению документами.

Таким образом, исследователь обычно располагает достаточно ясными представлениями о том, какова **должна быть** конструкция изучаемого объекта. Однако в данном контексте представляется уместным вспомнить крылатый афоризм, приписываемый М.Е. Салтыкову-Щедрину: «Строгость российских законов смягчается необязательностью их исполнения». Иначе говоря, то, что **есть на самом деле**, отнюдь не всегда совпадает с тем, что **должно было бы быть**. Сказанное можно подтвердить следующими данными: из порядка 60 мостов и путепроводов, в обследовании которых принимали участие авторы, лишь по единичным объектам были доступны материалы (в том числе рабочие чертежи), касающиеся конструкции фундаментов их опор, которые, впрочем, оказались не вполне достоверны. В подавляющем большинстве случаев паспорт объекта содержит конкретную информацию лишь о его надземной части и завершается фразой «конструкция фундамента неизвестна».

Именно поэтому привлечению геофизических методов для обследования скрытых, недоступных для прямого инструментального изучения частей инженерных сооружений должно придаваться большое значение. Необходимо отметить, что в последнее время целый ряд регламентирующих инженерное обследование документов был дополнен прямыми указаниями на необходимость применения геофизических методов, в том числе георадиолокации. В частности, использование именно приборов радарного типа для оценки длины существующих свай рекомендовано в актуализированной редакции СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» (раздел 5.14).

### **Как это работает**

Обоснованием для применения георадиолокационного метода при изучении конструктивных особенностей подземных частей объектов является хорошо известное из теории распространения радиоволн образование поверхностных неоднородных волн на контакте сред с различной диэлектрической проницаемостью.

С практической точки зрения, важнейшим является вопрос – какое значение диэлектрической проницаемости следует задавать при калибровке шкалы глубин?

Экстраполируя на электромагнитные методы опыт проведения скважинных геофизических исследований методом волнового акустического каротажа (ВАК), где в интерпретацию вовлекаются трубные волны Лэмба-Стоунли, область распространения которых приурочена к границе раздела скважина-горные породы, этот вопрос не представляется праздным.

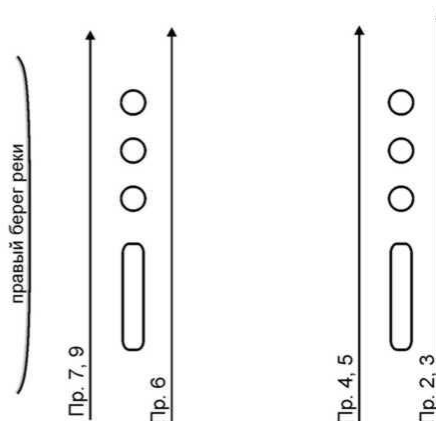
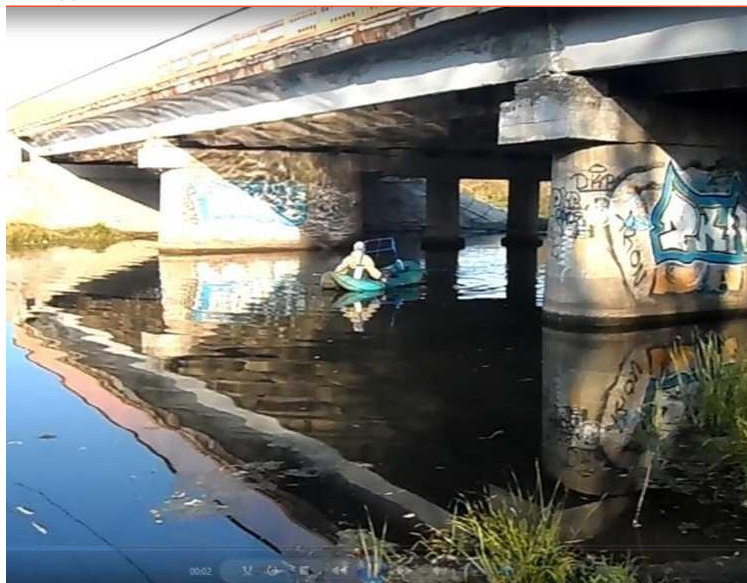
Для обоснования применимости георадиолокации для определения длины свай был выполнен значительный объем физического моделирования. Вмещающую сваи среду имитировал песок различной степени влажности. Использовались модели свай прямоугольного и круглого сечения, изготовленные из различных материалов – пластика, цемента, с арматурой и без таковой. Результаты моделирования свидетельствуют, что при оцифровке шкалы глубин на радарограмме следует ориентироваться на диэлектрическую проницаемость среды вмещающей сваи.

С практической точки зрения, необходимо заметить, что проведение работ под мостами и путепроводами и, в особенности, интерпретация полученных материалов, сопряжены со значительными трудностями, обусловленными, прежде всего, наличием большого числа надземных отражающих объектов – мостовых плит, балок, перемычек, стоек и пр. Все это требует специфических методических подходов как к проведению полевых исследований, так и к интерпретации получаемых материалов. В частности – кропотливого анализа и сопоставления волновых картин, полученных на разных профилях и с различными антеннами. Отметим, что при обследовании даже относительно небольшого моста, включающего в себя 3 опоры (2 концевые и одну промежуточную), георадиолокация с разнообразными антеннами (как экранированными, так и дипольными) проводится приблизительно по 20 – 25 профилям различной протяженности и ориентации. При этом достаточно часто возникает необходимость выполнения работ с использованием плавсредств, что еще более осложняет исследования.

На рисунках 1 и 2 представлены материалы, иллюстрирующие результаты обследования моста на автодороге М-7 «Волга» (мост расположен в черте г. Владимира). Георадиолокационное обследование промежуточных опор моста осуществлялось с надувной резиновой лодки (рис. 1, слева).

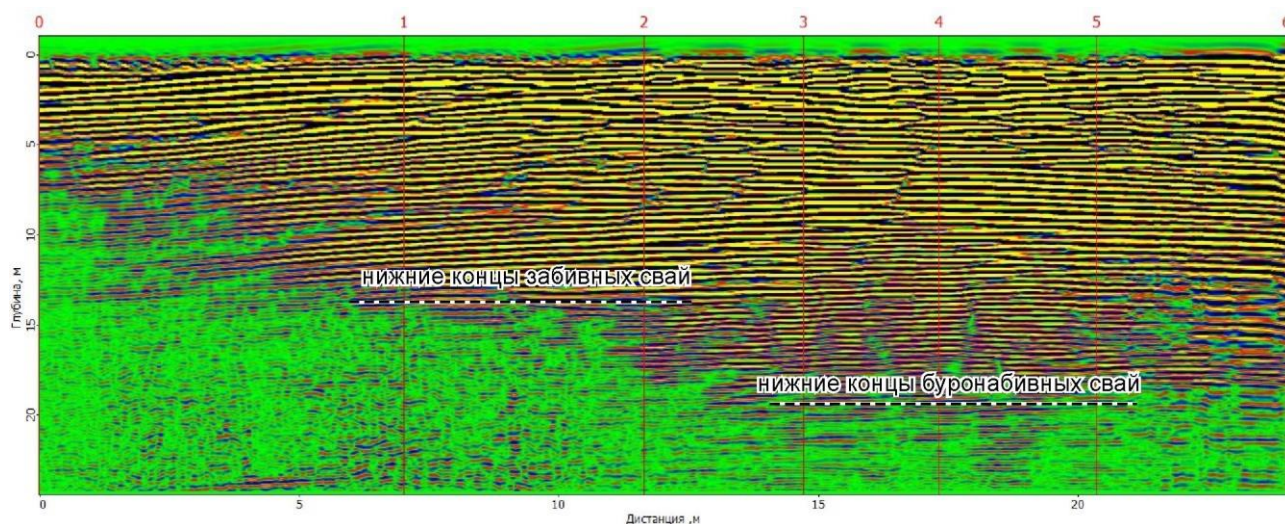
В конструктивном плане мост состоит из двух параллельных частей, которые были построены в разное время. Старая часть моста стоит на омоноличенных стеноподобных опорах, покоящихся на фундаментах из забивных свай. Опоры пристроенной позднее части состоят из 3-х расположенных в линию буронабивных свай (рис. 1, справа).





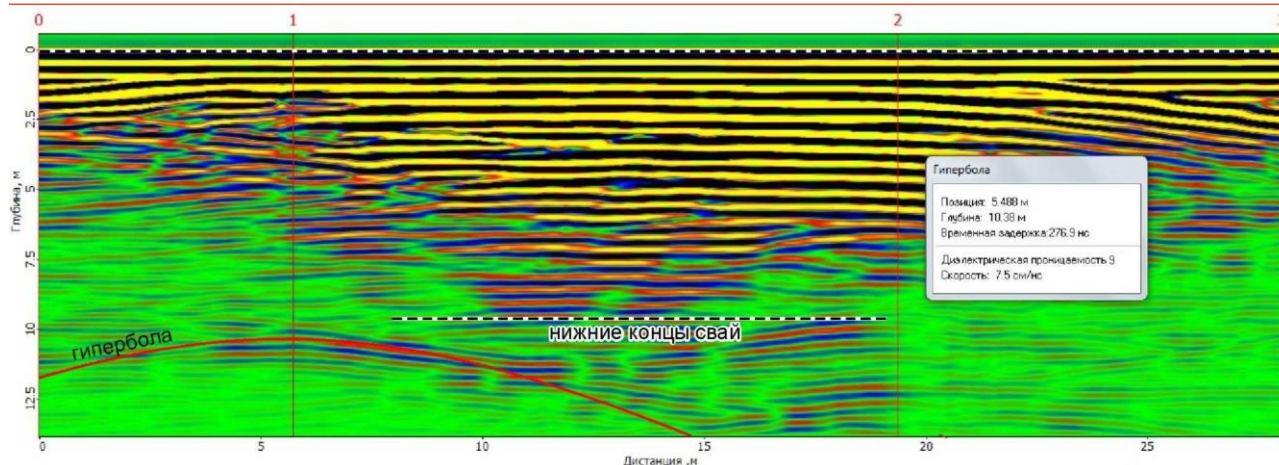
**Рис. 1.** Георадиолокационное обследования моста на автодороге М-7 «Волга»

По результатам георадиолокационного обследования глубина заложения забивных свай относительно поверхности воды составляет около 13 м, а глубина заложения буронабивных свай – около 18,5 м (рис. 2). Если первая цифра хорошо согласуется с данными рабочей документации, то глубина заложения буронабивных свай, определенная в результате геофизических исследований, оказалась существенно меньше, чем предполагалось. При калибровке шкалы глубин на георадиолокационных разрезах привлекались данные бурения инженерно-геологических скважин.



**Рис. 2.** Результаты георадиолокационное обследования промежуточной опоры моста на автодороге М-7 «Волга»

На практике в очень редких случаях на нижнем конце сваи образуется отражение гиперболической формы, характерное для локальных объектов, отличающихся от вмещающей среды по электромагнитным свойствам (рис. 3).



**Рис. 3.** Результаты георадиолокационного обследования промежуточной опоры моста на автодороге М-5 «Урал»

В данной ситуации отражение сформировалось на контакте нижнего конца крайней сваи с подстилающими его грунтами. Именно эта часть моста была достроена при его расширении и, судя по характеру полученной в результате исследований волновой картины, она покоится на буронабивной свае большого диаметра. Более старая часть моста имеет в своем основании забивные сваи менее глубокого заложения.

Определенные по результатам интерпретации материалов георадиолокации глубины заложения забивных свай составляют 9,5 м, а буронабивной сваи – 10,5 м.

На рисунках 4 – 6 представлены материалы, иллюстрирующие обследование опор моста через реку на автодороге Р-239.

**а**

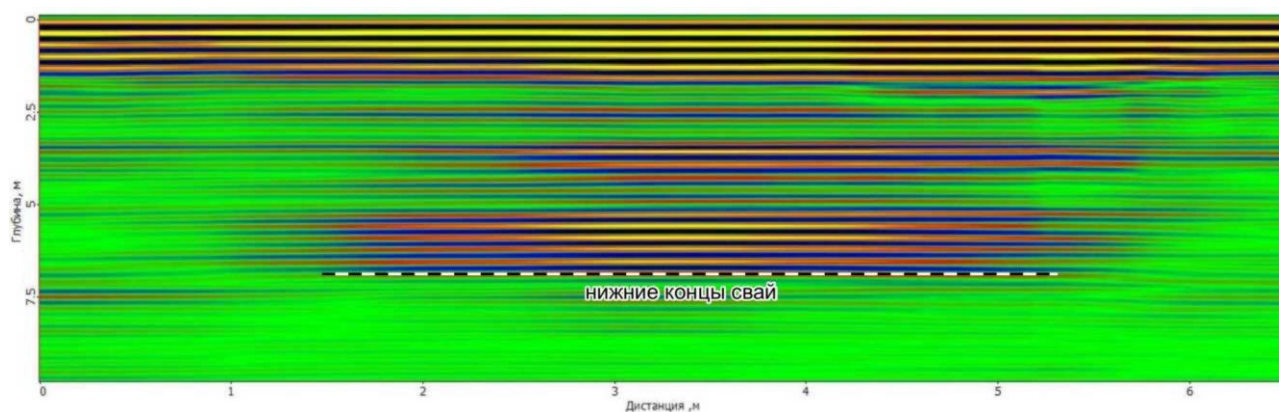




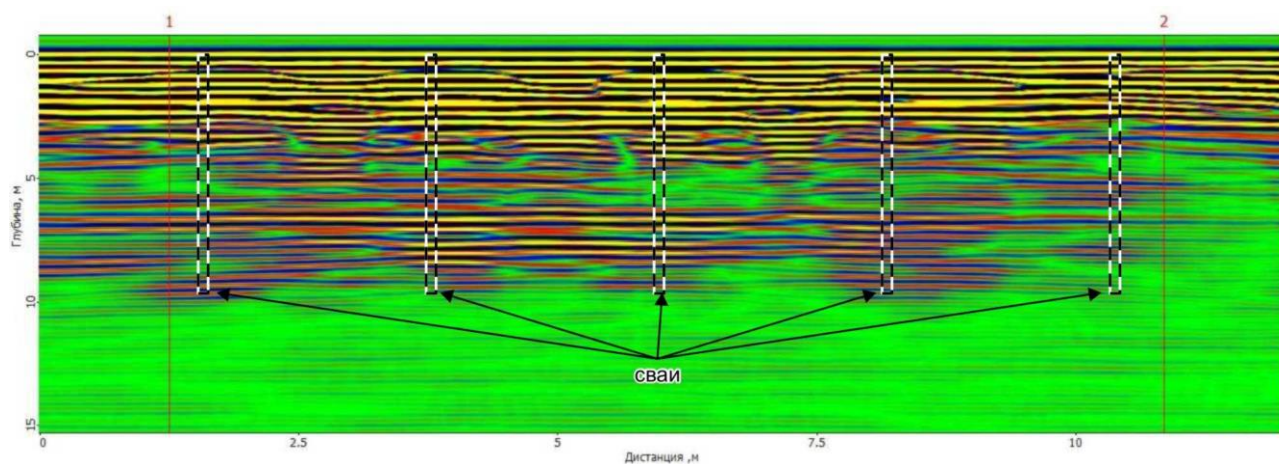
6



**Рис. 4.** Герардиолокационное обследование опор моста на автодороге Р-239 (промежуточной – а и концевой – б)



**Рис. 5.** Результаты георадиолокационного обследования промежуточной опоры моста на автодороге Р-239, выполненного с антенной 75 МГц



**Рис. 6.** Результаты георадиолокационного обследования концевой опоры моста на автодороге Р-239, выполненного с антенной 150 МГц

Полученные материалы свидетельствуют, что результаты исследований с более высокочастотной дипольной антенной, работающей на центральной частоте 150 МГц, в некоторых случаях содержат информацию, анализ которой позволяет оценить детали конструкции подземной части сооружений, в частности – количество свай в ряду, количество рядов свай и пр.

Все представленные выше материалы были получены с георадаром Зонд-12е производства НПО «Радарные Системы», г. Рига, Латвия. Обработка данных осуществлялась с помощью «штатного» программного обеспечение Prism 2.5 (разработки НПО «Радарные Системы»). Материалы статьи были изложены на конференции [«Георадар-2017»](#).