



Будько Владимир Борисович,
заместитель руководителя Центра
инженерно-технического аудита ООО
«Технологический институт «ВЕМО»»



Бутырин Андрей Юрьевич,
заведующий лабораторией судебной
строительно-технической экспертизы
РФЦСЭ при Минюсте России, доктор
юридических наук, профессор Московского
государственного строительного университета

Грунин Игорь Юрьевич,
руководитель Центра инженерно-
технического аудита ООО
«Технологический институт «ВЕМО»»

Морозов Павел Анатольевич,
кандидат физико-математических
наук, заместитель генерального
директора ООО «ВНИИСМИ»

Копейкин Владимир Васильевич,
кандидат физико-математических наук,
генеральный конструктор ООО «ВНИИСМИ»

Макеев Андрей Викторович,
ведущий эксперт лаборатории судебной
строительно-технической экспертизы
РФЦСЭ при Минюсте России

Горкин Дмитрий Сергеевич,
генеральный директор НП «ЭСКО-ВЕМО»

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С УСТАНОВЛЕНИЕМ ДЛИНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ В ФУНДАМЕНТЕ ЗДАНИЯ

В статье рассматривается метод определения глубины забивки и общей длины сваи в фундаменте здания (сооружения).

Budjko V.B., Butyrin A.Yu., Grunin I.Yu., Morozov P.A., Kopejkin V.V., Makeev A.V., Gorkin D.S.

APPLICATION OF A GEORADAR-TRACKING METHOD OF NOT DESTROYING CONTROL TO THE DECISION OF THE EXPERT QUESTIONS CONNECTED WITH AN ESTABLISHMENT OF LENGTH OF A FERRO-CONCRETE PILE IN THE BASE OF A BUILDING

The method of ascertainment of depth of immersing and pile total length in the base of a building (construction) is examined in this article.

Ключевые слова: сваи, фундамент, георадиолокационный метод

Keywords: piles, the base, a georadar-tracking method

Задача: определение глубины забивки и общей длины сваи в фундаменте здания (сооружения).

1. Объекты исследования

Железобетонные забивные, стальные, буроопускные и опускные сваи из тяжелого бетона – элементы свайных фундаментов зданий и сооружений.

2. Термины и определения

Анкер арматурный – деталь или устройство для закрепления или натяжения арматуры в предварительно напряженных же-

лезобетонных конструкциях.

Арматура – 1. Как элемент оборудования: вспомогательные, обычно стандартные устройства и детали, не входящие в его основной состав, но необходимые для обеспечения нормальной работы оборудования. 2. Как элемент железобетонных конструкций: составная (металлическая) их часть, предназначенная для восприятия, главным образом, растягивающих усилий и создания предварительного напряжения.

Волны упругие – обратимые периодические изменения положения частиц в сплошной среде, распространяющиеся со скоростью звука в данной среде.

Оголовок сваи – переходная деталь,

Общие технические параметры георадаров серии «Лоза»

1. Диапазон рабочих частот, МГц, не менее	50–300
2. Дискретность отсчета данных, нсек	1, 2
3. Количество регистрируемых кадров (экранов формата 128x256), не менее	500
4. Чувствительность приемника, мкВ, не менее	100
5. Импульсная мощность передатчика, мВт, не менее	1
6. Энергетический потенциал, дБ, не менее	120
7. Средняя излучаемая мощность, мВт, не более	100
8. Длительность регистрируемых реализаций, нсек	256, 512, 1024, 2048
9. Потребляемая мощность, Вт, не более:	
ждущий режим	2.5
режим регистрации	3.0
режим регистрации с подсветкой	3.7
10. Связь с компьютером через	RS232
11. Вес комплекса в сборе, кг, не более	10
12. Габариты БУИ-М с СА-1, мм, не более	260x150x160
13. Диапазон рабочих температур, °С	-20 ... +50
14. Диапазон регулировки двух дополнительных порогов регистрации	± 16

сопрягающая голову железобетонной сваи с элементами ростверка.

Свая – стержневой конструктивный элемент, погружаемый в грунт или образуемый в скважине для передачи нагрузки от сооружения грунту.

Фундамент свайный – фундамент из свай, объединенных сверху ростверком.

3. Оборудование, инструменты, материалы

1. Измерительное оборудование и инструменты: георадар «Лоза-В» в комплекте; ленты мерные неметаллические с ценой деления 1 мм, ГОСТ 7502-98 [10].

2. Фиксирующие инструменты и материалы: видеокамера, фотоаппарат, карандаш, ластик, планшет, листы бумаги либо блокнот.

Георадар «Лоза-В» позволяет регистрировать полную волновую форму отраженного импульса. (Схема комплекта георадара «Лоза» представлена в приложении 1.) Модель «В» ориентирована на выполнение сложных инженерно-геологических изысканий и археологических обследований с использованием анализа амплитуды отраженного сигнала и «3-D»-обработки. Принцип действия георадара основан на восстановлении картины раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью и проводимостью по отраженному сигналу. Отраженные сигналы регистрируются и сохраняются в памяти георадара в полноволновой форме. Георадары модификации «Лоза-В» комплектуются антеннами с центральной частотой 100 и 150 МГц. Конструкция антенн обеспечивает отсутствие паразитных «звонов» зондирующего импульса при размещении антенн на грунте.

Геофизический комплекс для определения границ геологических слоев «Лоза» относится к классу геофизических приборов для исследования подповерхностной структуры почвы до глубины в несколько десятков метров. Кроме рассматриваемых здесь исследований, комплекс «Лоза» находит применение в дорожном строительстве для определения состояния дорожного полотна, в геологии для получения геологической стратификации слоев, в археологии для изучения археологических объектов без раскопок, в коммунальном хозяйстве для поиска коллекторов, труб, кабелей, а также при решении вопросов, связанных с пробле-

мами экологии, например, для мониторинга протечек трубопроводов. «Лоза» обеспечивает получение регистрируемого геологического профиля на жидкокристаллическом индикаторе, определение глубины и места залегания подземных неоднородностей, разнообразных предметов и объектов в земле: кабелей, труб, фундаментов, уровней грунтовых вод и границ раздела геологических слоев.

4. Нормативно-техническая и специальная литература

№ п/п	Наименование документа	
Строительные нормы и правила		
1	СНиП 2.02.01- 83*	Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, институт Фундаментпроект Минмонтажспецстроя, с участием ПНИИИС Госстроя СССР, ПО Стройизыскания, Энергосетьпроект Минэнерго и ЦНИИС Минтрансстроя. Введены в действие с 1 января 1985 г. с изменением № 1, утвержденным постановлением Госстроя СССР от 9 декабря 1985 г. № 211, и изменением № 2, утвержденным постановлением Госстроя СССР от 1 июля 1987 г. № 125. – М., 1995
2	СНиП 2.02.03- 85	Свайные фундаменты / Госстрой СССР, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова; Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР. Введены в действие с 1 января 1987 г. – М., 1995

3	СНиП 3.02.01-87	Земляные сооружения, основания и фундаменты / Госстрой СССР, ЦНИИ-ОМТП Госстроя, ВНИИ-ОСП им. Н.М. Герсегованова Госстроя СССР, ЦНИИС Минтрансстроя СССР, трест Гидромеханизация и проектная контора Гидромехпроект Минэнерго СССР, ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. Введены в действие с 4 декабря 1987 г. – М., 1988	7	ГОСТ 19804.2-79*	Сваи забивные железобетонные цельные сплошного квадратного сечения с поперечным армированием ствола с напрягаемой арматурой. Конструкция и размеры / Госстрой СССР, институт Фундаментпроект Минмонтажспецстроя. Введен в действие с 1 января 1981 г. с изменением № 1, утвержденным в июне 1983 г.; пост. № 54 от 31 марта 1983 г. (ИУС 9-83). – М., 1995
4	СНиП 52-01-2003	Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения / Госстрой России, ГУП «НИИЖБ» Госстроя России. Введены в действие с 1 марта 2004 г. – М., 2004	8	ГОСТ 19804.3-80*	Сваи забивные железобетонные квадратного сечения с круглой полостью. Конструкция и размеры. Введен в действие с 1 января 1981 г. с изменением № 1, утвержденным в июне 1983 г.; пост. № 54 от 31 марта 1983 г. (ИУС 9-83). – М., 1995
5	СП 13-102-2003	Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России, ФГУП «КТБ ЖБ», ГУП «НИИЖБ», 26-й ЦНИИ МО России при участии ГУП «ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко», ГУП «НИИ Мосстроя». Введены в действие с 21 августа 2003 г. – М., 2004	9	ГОСТ 19804.4-78*	Сваи забивные железобетонные квадратного сечения без поперечного армирования ствола. Конструкция и размеры». Введен в действие с 1 января 1979 г., с изменением № 1, утвержденным в июне 1983 г.; пост. № 54 от 31 марта 1983 г. (ИУС 9-83); с поправкой (ИУС 7-84). – М., 1995
Государственные стандарты					
6	ГОСТ 19804-91	Сваи железобетонные. Технические условия / Госстрой СССР, институт Фундаментпроект Минмонтажспецстроя. Введен в действие с 1 августа 1992 г. – М., 1991	10	ГОСТ 7502-98	Рулетки измерительные металлические. Технические условия / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела» (ВНИИМИ) и Межгосударственный технический комитет по стандартизации МТК 296 «Оптика и оптические приборы». Введен в действие с 1 июля 2000 г. – Минск, 1998

Рекомендации, пособия

- 11 Пособие к МГСН 2.07-01 Основания, фундаменты и подземные сооружения. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений / Правительство Москвы, НИИОСП им. Н.М. Герсевича; СК КРЕАЛ; Ассоциация «Строинормирование»; ГУП «Мосгоргеотрест». Введено в действие с 1 января 2004 г. — М., 2004.
- 12 Рекомендации по проектированию и устройству оснований, фундаментов и подземных сооружений при реконструкции гражданских зданий и исторической застройки / Правительство Москвы, Москомархитектура. — М., 1998
- 13 Бутырин А.Ю. Теория и практика судебной строительно-технической экспертизы. — М.: ОАО «Издательский Дом «Городец», 2006. — 544 с.

5. Последовательность экспертных действий, необходимые условия их выполнения

Представленные методические подходы определяют порядок проведения экспертных исследований, направленных на установление длины железобетонной сваи в фундаменте эксплуатируемого (возводимого) здания (сооружения) с применением георадиолокационного метода. Исследования проводятся комплексно: экспертом-строителем и экспертом-геофизиком (комплексная строительно-техническая и геофизическая экспертиза).

Свайные фундаменты должны соответствовать требованиям нормативно-технических документов, иных специальных правил:

по общим вопросам устройства – требованиям [1–3; 12];

применительно к железобетонным конструкциям – требованиям [4];

по конструктивным особенностям – требованиям [6–10].

Обследование свайных фундаментов проводится в соответствии с действующими регламентами [5; 11].

Измерение производится с помощью курсора на экране георадара с точностью до 1 н/сек.

Работы с георадарным комплексом «Лоза» проводятся в натуральных условиях, удовлетворяющих следующим требованиям:

- обследования проводятся в светлое время суток, в сухую погоду при температуре окружающего воздуха от -20 до +50 °С;
- обследования проводятся в условиях отсутствия атмосферных осадков и снежного покрова более 1-го метра;
- расстояние от конца провода до сваи по горизонтали измерений варьируется от 1 м до 20 м;
- вблизи менее чем 35 метров от места проведения съемки не должно располагаться высоковольтное технологическое оборудование, работа которого создает активные электромагнитные помехи, или это оборудование на время проведения съемки должно быть обесточено.

Подготовка к измерениям начинается с рассмотрения технической документации.

Необходимая информация об объекте исследования содержится в следующих документах:

- архитектурно-строительная и технологическая части проекта здания (сооружения);
- рабочие чертежи и пояснительная записка к проекту фундаментов и свайного поля;
- паспорта завода-изготовителя на железобетонные изделия (сваи), использованные при устройстве свайного поля (куста или одиночной сваи), с указанием даты их изготовления и основных характеристик;
- рабочая и исполнительная документация по свайным фундаментам (журналы, акты, исполнительные схемы, данные испытаний, сведения о дефектах конструкций и т.п.);
- фотографии, чертежи, схемы, макеты исследуемого объекта;
- документы, содержащие данные о факторах техногенного характера – о наличии и характере агрессивной среды, интенсивности ее воздействия на железобетонные конструкции и пр.

Из этих источников эксперт получает

данные о местоположении и характеристиках свай, подлежащих обследованию.

Далее в рамках подготовки к измерениям осуществляется следующее.

- установление местоположения и вскрытие шурфом оголовника сваи;
- вскрытие защитного слоя арматуры и обеспечение доступа к одному из вертикальных стержней арматуры;
- укладка проводов для возбуждения сигнала и присоединение их к вертикальному стержню арматуры сваи;
- разметка трассы;
- сборка и настройка аппаратуры.

Проведение измерений. Основными этапами определения глубины забивки и длины сваи являются:

1. Выполнение георадарного разреза по проводу, соединенному с арматурой сваи (приложение 2).

Требования:

площадка в месте прокладки кабеля должна быть относительно ровной, без перепадов в горизонте до 1 метра;

количество измерений зависит от шага и требуемой точности;

шаг по профилю произвольный от 1 см до 100 см, точность от 1% до 10%;

кабель электрический с внешней изоляцией, одножильный, одно- или многопроволочный, сечением от 1.5 мм до 6 мм;

в месте стыка арматуры и кабеля должен быть обеспечен электрический контакт;

рулетка не должна быть металлической!!!;

кабель не должен иметь электрический контакт с землей!!!;

кабель по поверхности земли натянут по прямой;

длина кабеля должна составлять в 2-3 раза больше предполагаемой длины сваи;

длина профиля 5-15 м, в зависимости от длины кабеля удлинителя.

Положение провода по отношению к радару показано в приложении 1.

Время исследования с учетом подготовительных работ – 15 минут на одну сваю.

2. Измерение времени задержки сигнала от конца сваи.

Измерение производится с помощью курсора на экране георадара с точностью до 1 нсек.

Время выполнения 1-го измерения – 0,5

минуты.

3. Измерение скорости сигнала в среде.

3.1. С помощью контрольной сваи.

3.2. С помощью построения геологического разреза и годографа (приложение 3). Методика построения годографа при георадарном зондировании заимствована из сейсморазведки (см. пункт 6).

Далее исследования проводятся с помощью компьютера. Выполняется камеральная обработка полученных данных.

Время выполнения с учетом компьютерной обработки – 40 минут.

4. Вычисление глубины забивки сваи.

Глубина заложения – $(T_{\text{ск}} \times V_{\text{сигнала в среде}})$ метров.

6. Технологические особенности определения глубины забивки и общей длины забитой сваи с помощью георадара «ЛОЗА»

Прямое (радиолокационное) определение глубины забивки и общей длины забитой сваи 20–25 метров осложняется малой площадью сечения отражения объекта. Торец стержня арматуры диаметром 10–12 мм будет зарегистрирован одной точкой отражения на георадарном профиле. Выделение и интерпретация этого отражения как искомого среди отражений от других геологических объектов требует высокой квалификации эксперта, обеспечивающей достаточную (оптимальную) степень подтвержденности вероятностных по своей природе полученных результатов. Применяемый на практике способ зондирования значительно упрощает выделение искомого сигнала и определение глубины залегания объекта.

Провод, лежащий на земле или забуренный в почву (в данном случае роль провода, забуренного в почву, играет вертикальный арматурный стержень, соединенный с проводом, лежащим на земле), при некоторых условиях может канализировать (направлять) энергию электромагнитной волны. Для возникновения волны, бегущей вдоль провода, необходима асимметричная запитка его с помощью электрического диполя. Наилучшая запитка возникает, если расположить приемную и передающую антенны георадара перпендикулярно проводу посередине одного из полувибраторов.

ров. Возникающая при этом **ТЕМ-волна** распространяется вдоль провода и отражается от его концов. Кроме концевых отражений возможны отражения и от неоднородностей образованного проводом и средой волновода – например, от места присоединения провода к арматуре. Скорость распространения **ТЕМ-волны** в подземной среде, как обычно, определяется диэлектрической проницаемостью этой среды. Для участка провода, лежащего на поверхности, скорость распространения можно оценить через эффективную диэлектрическую проницаемость, равную половине диэлектрической проницаемости среды.

При продвижении георадара по проводу, соединенному с арматурой сваи, на экране появятся сигналы, вызванные отражениями от концов провода и арматурного стержня и неоднородностью провода (место присоединения провода к арматуре):

время задержки сигнала из скважины

$$T_{\text{ск}} = H/V_{\text{сигнала в среде}};$$

время задержки сигнала на пути L1 –

$$T_1 = L_1/(V_{\text{сигнала в среде}} \cdot \sqrt{2});$$

время задержки сигнала на пути L2 –

$$T_2 = L_2/(V_{\text{сигнала в среде}} \cdot \sqrt{2});$$

время задержки сигнала на пути от

точки «А» до конца провода в скважине $T = T_1 + T_2$.

Общий вид функций изменения задержек отраженных сигналов от концов провода и арматуры в зависимости от положения георадара представлен в приложении 4. Схема проведения измерений показана в приложении 5.

При передвижении антенн георадара по удлиненному проводу на экране мы получаем два легко читаемых сигнала от конца провода, лежащего на поверхности, и конца арматуры. Этот этап измерений необходим только для уверенной идентификации сигналов. Передвижение по проводу может быть с произвольным равномерным шагом.

В конце пути, когда передатчик находится над свайей, измеряется задержка сигнала $T_{\text{ск}}$. На этом первая часть решения задачи завершается.

Для нахождения глубины заложения необходимо знание свойств среды распространения. Скорость распространения сигнала в среде в $(\sqrt{\epsilon})$ раз меньше, чем в воздухе (ϵ – диэлектрическая проницаемость среды). Измерение диэлектрической проницаемости среды и скорости распространения сигнала в

среде возможно с помощью построения «**годографа**». Методика построения годографа при георадарном зондировании полностью аналогична методике построения сейсмических годографов. По результатам построения георадарного годографа находится скорость и диэлектрическая проницаемость среды. Вычисления проводятся с помощью прикладного программного обеспечения, входящего в комплект оборудования, которое прилагается к прибору.

Глубина забивки сваи – $(T_{\text{ск}} \times V_{\text{сигнала в среде}})$. Свойства среды (скорость распространения сигнала) мы можем экстраполировать на группу близлежащих свай, геологические условия в районе которых условно идентичны месту измерения годографа. Учет свойств среды и нахождение скорости сигнала возможно более простым способом. Для этого необходимо обмерить (георадаром) сваю с известной глубиной забивки (контрольная свая).

Таковы основные положения методических подходов к решению экспертных вопросов, связанных с установлением длины **железобетонной или железной сваи** в фундаменте здания (сооружения) с применением георадиолокационного метода неразрушающего контроля.

Результаты рассматриваемых исследований могут быть положены в основу решения следующих задач:

установление соответствия выполненным работам принятым проектным решениям;

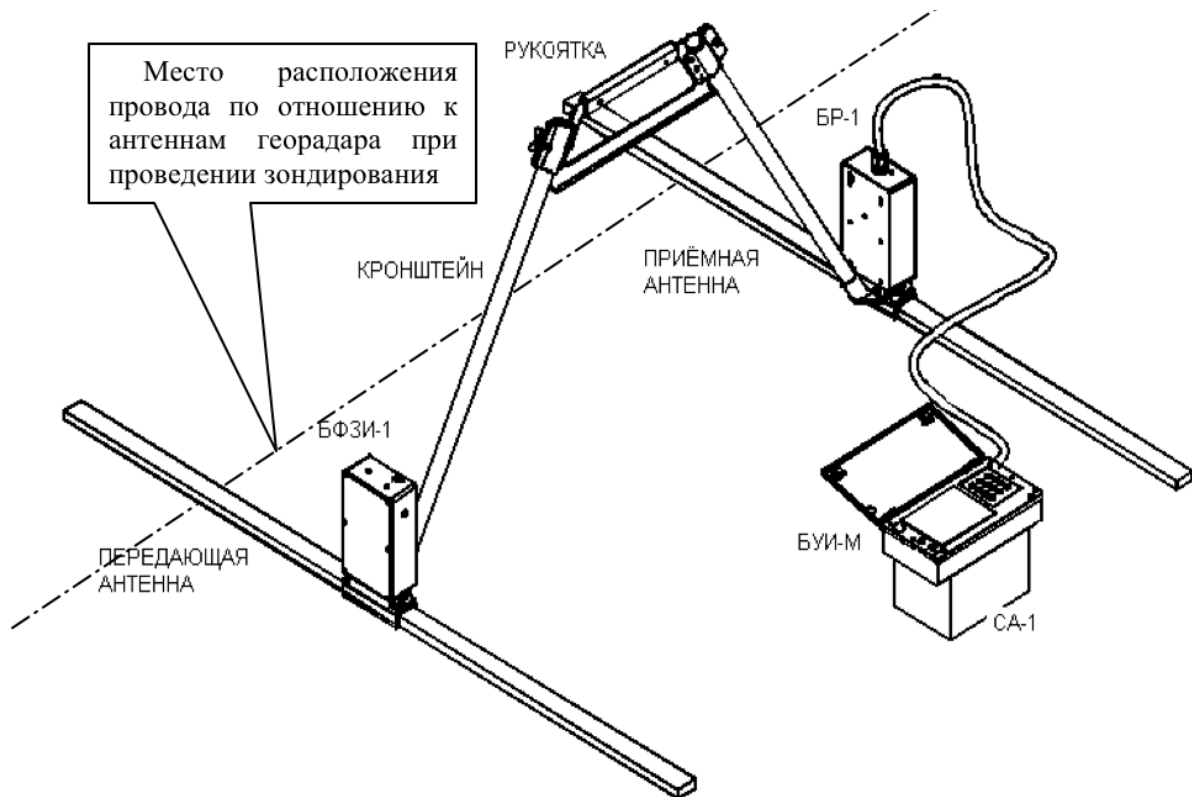
определение объема, видов и качества использованных материалов и изделий, установление их соответствия проектным данным и требованиям нормативно-технической, отчетно-финансовой, исполнительной документации, условиям договора подряда;

определение несущей способности фактически выполненных свайных фундаментов путем проведения проверочных расчетов;

косвенное определение состояния коррозии металлической арматуры в бетоне или металлической конструкции.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Схема комплекта георадара «Лоза»



Приложение 2. Железобетонная свая шпунтовой стенки



Рис. 1. Присоединение провода к оголовку железобетонной сваи



Рис. 2. Процесс измерения

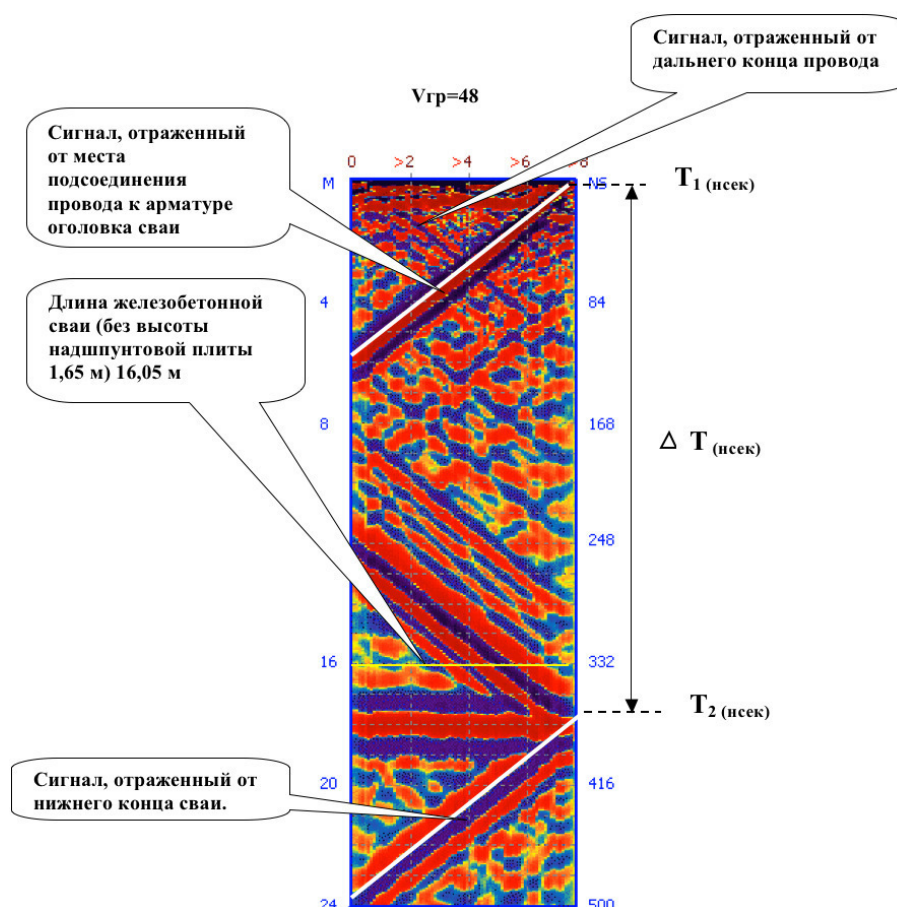


Рис. 3. Радарограмма измерений на железобетонной свае шпунтовой стенки

Измеренное по радарограмме расстояние от места присоединения провода к шпунтовой

стенке до основания сваи составляет 17,7 м. Высота надшпунтовой плиты 1,65 м (по данным ООО «ГеоПлюсПроект»). Таким образом, длина железобетонной сваи – 16,05 м. По данным ООО «ГеоПлюсПроект» ее длина составляет 16,45 м.

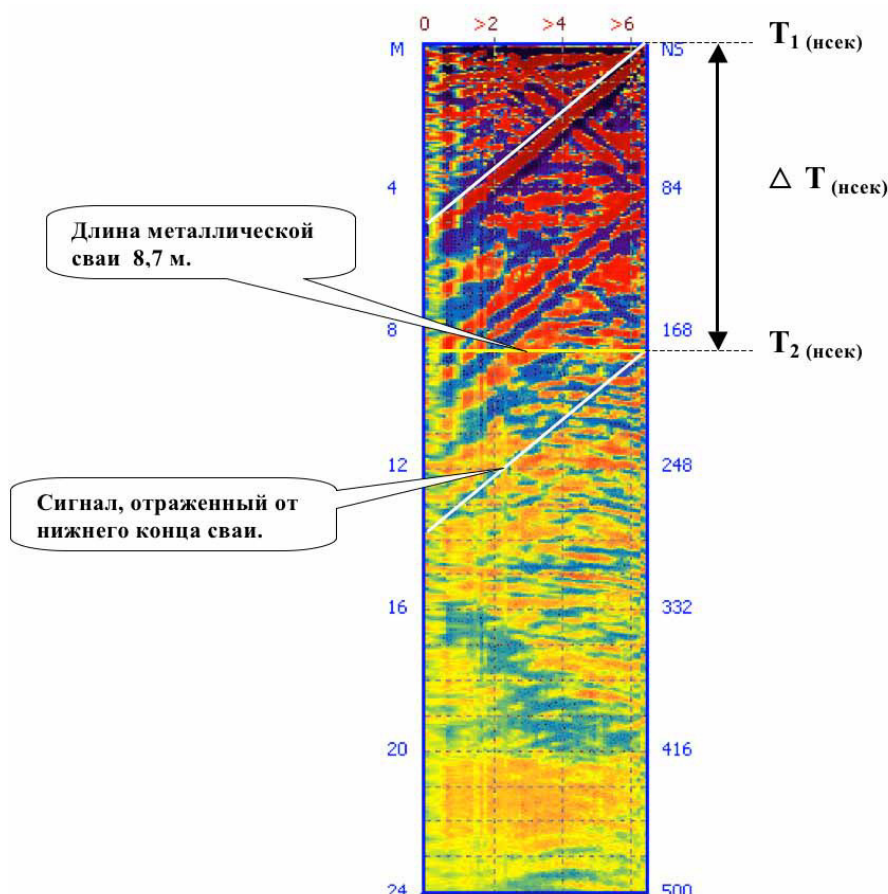


Рис. 4. Радарограмма измерений на железобетонной свае шпунтовой стенки

Ослабление сигнала от нижнего конца сваи вызвано, по всей видимости, плохим контактом провода с поверхностью шпунтовой сваи (ржавчина, краска). Однако, как видно из рис. 3 и 4, определение глубины заложения сваи возможно и при индукционном контакте провода с шпунтом.

На радарограмме отчетливо регистрируются три сигнала:

сигнал (1), отраженный от нижнего конца сваи;

сигнал (2), отраженный от дальнего конца провода;

сигнал (3), отраженный от места подсоединения провода к арматуре сваи.

Длина сваи ($T_{\text{ск}} \times V_{\text{сигнала в среде}}$) м = 18,04 м. Время задержки сигнала от конца сваи (арматуры) $T_{\text{ск}} = 384$ нсек. Скорость сигнала по пробной свае № 2 – 4,7 см/нсек.

* * *

Проиллюстрируем методику измерения глубины на примере определения длины сваи фундамента складского помещения (г. Одинцово Московской области).

Подготовительные работы: в фундаменте здания была открыта одна свая; был открыт доступ к одному из вертикальных стержней арматуры сваи.

Методика определения: возбуждение электромагнитной ТЕМ-моды в арматуре сваи; измерение времени задержки сигнала, отраженного от точки входа (верхняя часть сваи), и нижнего конца сваи в грунте с помощью георадара «Лоза-В» с антеннами 100 см (200 МГц).



Рис. 5

Приложение 3

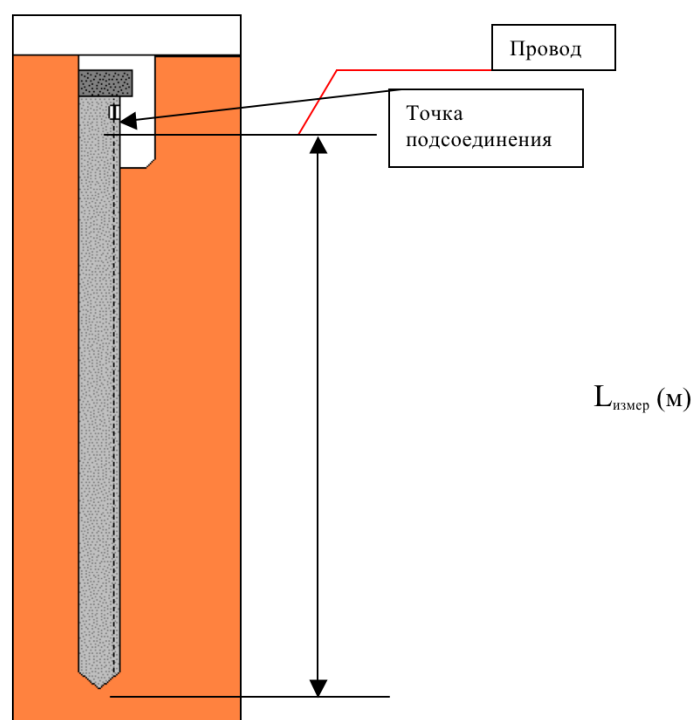


Рис. 1. Схема измерения

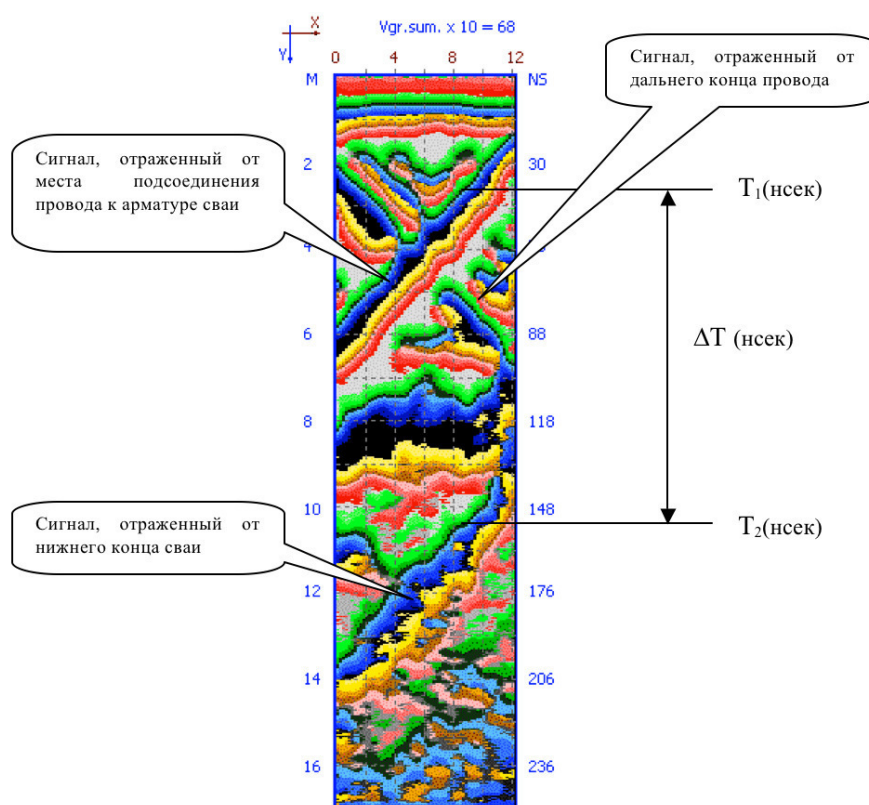


Рис. 2. Результаты измерения (радарограмма)

Расчеты: измеренная длина сваи $L_{\text{измер}}$ (см. приложение 1) = $\Delta T \times v = 122 \text{ нсек} \times 6,8 \text{ см/нсек} = 830 \text{ см}$, где $v = 6,8 \text{ см/нсек}$ – скорость распространения сигнала по арматуре, расположенной во влажном бетоне сваи.

Результат исследования: длина измеренного участка сваи (в среднем по 5-ти измерениям) – 8,3 метра ($\pm 0,2 \text{ см}$).

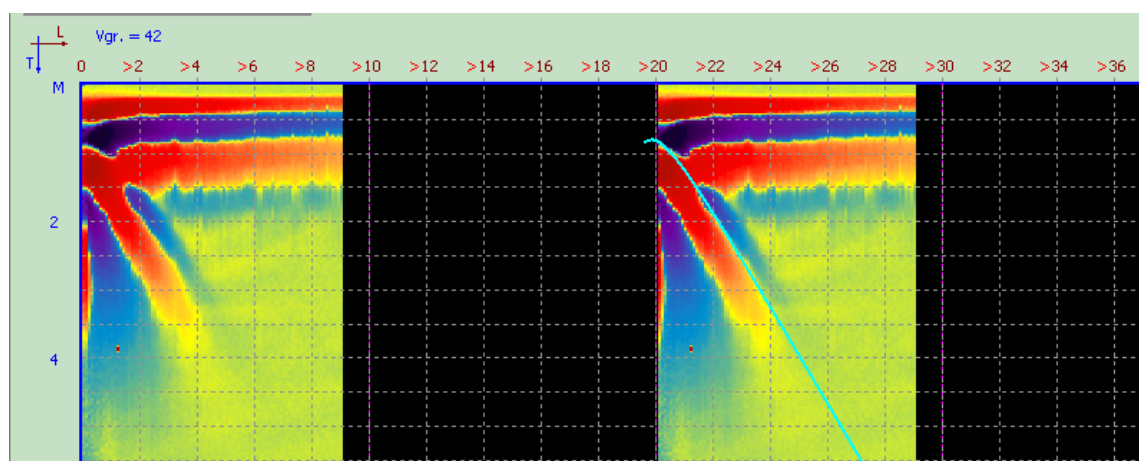
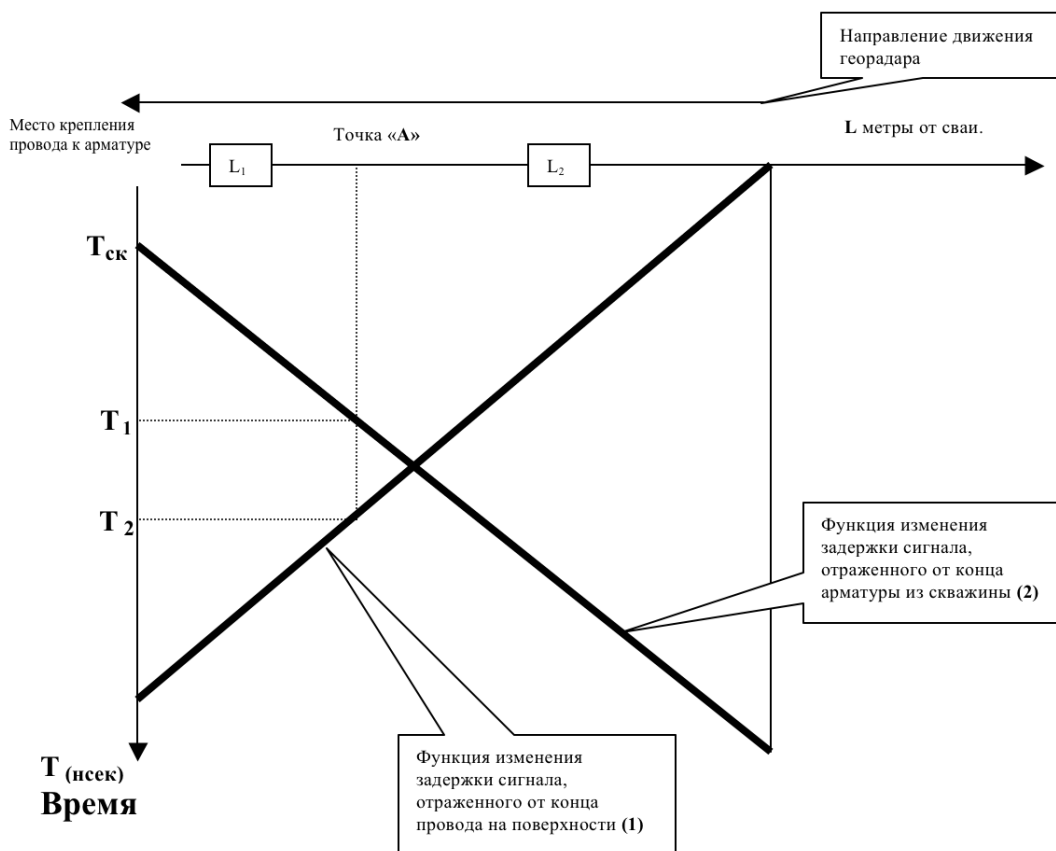


Рис. 3. Определение скорости сигнала в среде по годографу с помощью компьютерной программы «Крот»

Приложение 4. **Общий вид функций изменения задержек отраженных сигналов от концов провода и арматуры в зависимости от положения георадара**



Приложение 5. **Схема проведения измерений**

