Общество с ограниченной ответственностью
“Специальное конструкторское бюро Стройприбор”

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «СКБ Стройприбор»

_____ В.В.Гулунов

«__25__» ____января____ 2020

Прибор диагностики свай
ПДС– МГ4

Руководство по эксплуатации

Э 26.51.66.121-070-2020

Челябинск
2020

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ

об утверждении типа средств измерений
№ **81110-20**

Срок действия утверждения типа до **31 декабря 2030 г.**

НАИМЕНОВАНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Приборы диагностики свай ПДС-МГ4

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Общество с ограниченной ответственностью "Специальное конструкторское бюро Стройприбор" (ООО "СКБ Стройприбор")

ПРАВООБЛАДАТЕЛЬ
-

КОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА
ОС

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
МП 4202/2-2020

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **1 год**

Срок действия утвержденного типа средств измерений продлен приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии **от 19 сентября 2025 г. N 2010.**

Заместитель Руководителя

Подлинник электронного документа, подписанного ЭП, хранится в системе электронного документооборота Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП

Сертификат: 7B1801563EA497F787EAF40A918A8D6F
Кому выдан: Лазаренко Евгений Русланович
Действителен: с 19.05.2025 до 12.08.2026

Е.Р.Лазаренко

«06» октября 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Описание и работа прибора 6

1.1 Назначение и область применения 6
1.2 Метрологические и технические характеристики 6
1.3 Состав прибора 7
1.4 Устройство и принцип работы 8
1.5 Маркировка и пломбирование 11

2 Использование по назначению 12

2.1 Эксплуатационные ограничения 12
2.2 Подготовка прибора к работе 12
2.3 Порядок работы в режиме «Измерение» 13
2.4 Порядок работы в режиме «Архив» 19
2.5 Порядок работы в режиме «Настройки» 20
2.6 Порядок работы в режиме «Работа с ПК» 22

3 Техническое обслуживание 28

3.1 Меры безопасности 28
3.2 Порядок технического обслуживания 29

4 Поверка 29

5 Хранение 29

6 Транспортирование 29

Приложение А 30

Приложение Б 33

Паспорт 38

Методика поверки 41

Рекомендации по применению прибора ПДС-МГ4 47

ВНИМАНИЕ!

Для эффективного использования прибора диагностики свай ПДС-МГ4 требуются следующие условия:

1 Знания принципа работы, характеристик и способов применения прибора. (Вся необходимая информация находится в данном руководстве по эксплуатации).

2 Наличие методик по сейсмическим и акустическим методам контроля при изысканиях под строительство и при обследовании подземных строительных конструкций.

3 Оператор должен знать общие принципы сейсморазведки, особенности и теорию распространения волнового поля возбуждаемого механическим источником, в том числе – понятия скорости звука, затухания, отражения и преломления волн, ограниченности действия звукового луча и пр.

Оператор должен пройти соответствующее обучение для компетентного использования оборудования и приобретения знаний об общих принципах акустического и сейсмического контроля, а также частных условиях контроля конкретного вида изделий.

Руководство по эксплуатации (РЭ) включает в себя общие сведения необходимые для изучения и правильной эксплуатации прибора диагностики свай ПДС-МГ4 (далее по тексту – прибор). РЭ содержит описание принципа действия, технические характеристики, методы контроля и другие сведения, необходимые для нормальной эксплуатации прибора.

Эксплуатация прибора должна проводиться лицами, ознакомленными с принципами работы, конструкцией прибора, настоящим РЭ.

1 Описание и работа прибора

1.1 Назначение и область применения

1.1.1 Прибор диагностики свай ПДС-МГ4 предназначен для измерений интервалов времени между моментом возбуждения акустической волны в свае и моментом прихода эхо-сигнала, отраженного от границы раздела сред.

1.1.2 Область применения – определение длины и целостности свай в строящихся зданиях и сооружениях (СП 45.13330.2017 "Земляные сооружения, основания и фундаменты"), а также для получения сейсмического и сейсмоспектрального профилей грунта на предприятиях стройиндустрии, научно-исследовательских и строительных лабораториях.

1.1.3 Условия эксплуатации:

− температура окружающего воздуха от минус 10 °С до плюс 35 °С;

− относительная влажность воздуха не более 85 %.

1.2 Метрологические и технические характеристики

1.2.1 Основные метрологические и технические характеристики представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные метрологические и технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
1	2
Диапазон измерений интервалов времени, мкс	от 500 до 50000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения интервалов времени, % – в диапазоне от 500 до 5000 мкс – в диапазоне св. 5000 до 50000 мкс	 ±5 ±1
Диапазон показаний длины сваи (при скорости звука 4000 м/с), м	от 1 до 100 м
Частота дискретизации, кГц	62,5
Количество измерительных каналов	2
Число отсчетов выводимых на экран, не менее	1024
Параметры электрического питания: – напряжения постоянного тока, В	 от 11,0 до 13,5
Потребляемая мощность, Вт, не более	3,6
Габаритные размеры прибора в кейсе, мм, не менее – высота – ширина – длина	 150 350 400
Масса, кг, не более	6

1	2
Средняя наработка на отказ, ч	5 000
Средний срок службы, лет	10

1.2.2 Идентификационные данные программного обозначения представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Идентификационные данные программного обозначения (ПО)

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	PDS-MG4
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже V1.02
Цифровой идентификатор ПО (CRC16)	2EF4

1.3 Состав прибора

1.3.1 Конструктивно прибор состоит из электронного блока, сейсмоприемника, одного или двух* и молотка с демпфером.

1.3.2 В комплект поставки прибора входят:

- зарядное устройство;
- приспособление для установки сейсмоприемников на грунт;*
- темпер;*
- молоток с встроенным пьезодатчиком.*
- геофон* 2 шт;
- вибродатчик боковой ВД8Б* 1 шт;
- кабель удлинитель* 2 шт;
- кабель связи с ПК;
- программное обеспечение.

* поставляется по специальному заказу.

1.3.3 Приборы поставляются в потребительской таре. Общий вид прибора представлен на рисунке 1.

1 – электронный блок
2 – молоток
3 – сейсмоприемник
4 – разъем для подключения первого сейсмоприемника
5 – разъем для подключения второго сейсмоприемника
6 – разъем для подключения молотка
7 – разъем USB
8 – разъем для зарядного устройства
9 – молоток с встроенным пьезодатчиком
10 - геофон
11 – вибродатчик боковой

Рисунок 1 – Общий вид прибора диагностики свай ПДС-МГ4

1.4 Устройство и принцип работы

1.4.1 Принцип действия прибора основан на отражении механического колебания от границы раздела сред с разными физическими свойствами.

Сейсмоприемник закрепляется на конце сваи, включается режим регистрации и производится механическое воздействие молотком вдоль оси сваи для возбуждения продольной волны. Волна, отражаясь от конца сваи, возвращается к сейсмоприемнику. Прибор, регистрирует сигнал, по которому осуществляется измерение времени между начальным воздействием и отраженной волной (рисунок 2).

Вычисление длины сваи (L) проводится в следующей последовательности:

− измеряется промежуток времени между начальным воздействием по оголовку сваи и откликом, полученным от нижней границы;

− длина сваи вычисляется по формуле:

$$L = \frac{\Delta t \cdot V}{2}, \qquad (1)$$

где Δt - промежуток времени между начальным воздействием и откликом, полученным от нижней границы в первом канале, с (см. рисунок 2);

V - скорость распространения в среде, м/с (табличное значение скорости в железобетоне (3400 – 4500) м/с, в металле 5900 м/с).

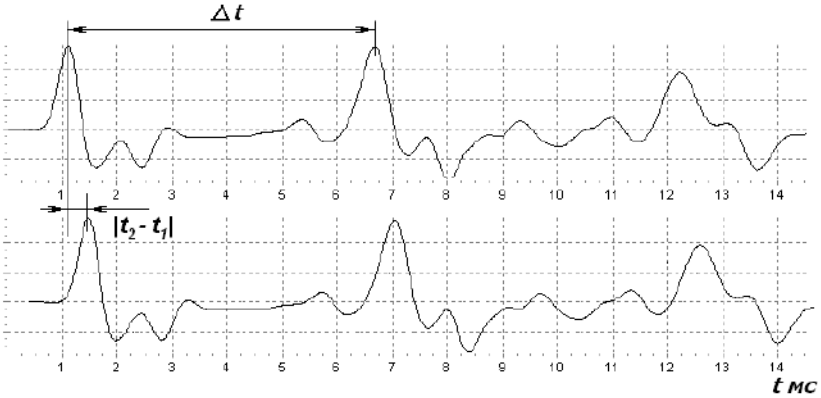


Рисунок 2

Скорость распространения в среде задается оператором или определяется по формуле:

$$V = \frac{S}{|t_2 - t_1|}, \qquad (2)$$

где S − расстояние между сейсмоприемниками, м;

$|t_2 - t_1|$ - модуль разности времени начала воздействия между двумя каналами, с.

Точность вычислений обусловлена периодом квантования, который определяется по формуле:

$$T_{кв} = \frac{1}{F_д}, \qquad (3)$$

где $T_{кв}$ − период квантования, мс;

$F_д$ − частота дискретизации, Гц.

Скорость распространения продольной волны упругих колебаний в свае является величиной известной для свай разного типа. Отклонения от известного значения скорости составляют не более 5 %, что определяет погрешность вычисления длины сваи.

При ударном воздействии в свае возникают собственные колебания, частота которых зависит от геометрических размеров сваи и глубины залегания дефектов. В приборе предусмотрен режим спектральной обработки сигнала, при помощи которого можно проводить диагностику сваи по спектру колебаний.

1.4.2 На лицевой панели электронного блока размещен ЖК дисплей и клавиатура, состоящая из тринадцати клавиш: **ВКЛ** (окрашена в красный цвет), цифровых клавиш **0** – **9**, **ЦИФРЫ** и **ВВОД**. Цифровые клавиши имеют дополнительные обозначения: «2 - ↑»; «8 - ↓»; «4 - ←»; «6 - →».

Рисунок 3 – Лицевая панель электронного блока

1.4.3 Для подключения сейсмоприемников, молотка, зарядного устройства и ПК на передней панели имеются разъемы с соответствующим обозначением:

− коаксиальные разъемы «Датчик 1», «Датчик 2», «Молоток»;

− разъем для подключения зарядного устройства «= 16V»;

− разъем для подключения к ПК «USB».

Для контроля заряда аккумуляторной батареи на передней панели имеются два светодиода красного «батарея» и зеленого «вкл.» цвета. При работе прибора горит зеленый светодиод «вкл.». Если батарея разряжена, то зеленый светодиод начинает мигать. При подключении зарядного устройства мигает красный светодиод. Если красный светодиод «батарея» светится постоянно при подключенном зарядном устройстве, то это указывает на то, что батарея полностью заряжена.

Внимание! Для продления срока службы аккумуляторной батареи рекомендуется проводить ее подзарядку (<u>только зарядным устройством, поставляемым с прибором</u>) не реже одного раза в месяц, не зависимо от интенсивности эксплуатации прибора. Устанавливать прибор на хранение следует с полностью заряженным аккумулятором. Замена аккумуляторной батареи проводится только в условиях предприятия изготовителя.

1.4.4 Включение прибора и его отключение производится нажатием клавиши **ВКЛ** с последующим удержанием в нажатом состоянии не менее двух секунд.

1.4.5 Цифровые клавиши имеют и другое функциональное назначение. Для отображения назначение цифровых клавиш в данном режиме работы прибора в нижней части дисплея выводятся

пиктограммы (см. рисунки 4, 5).

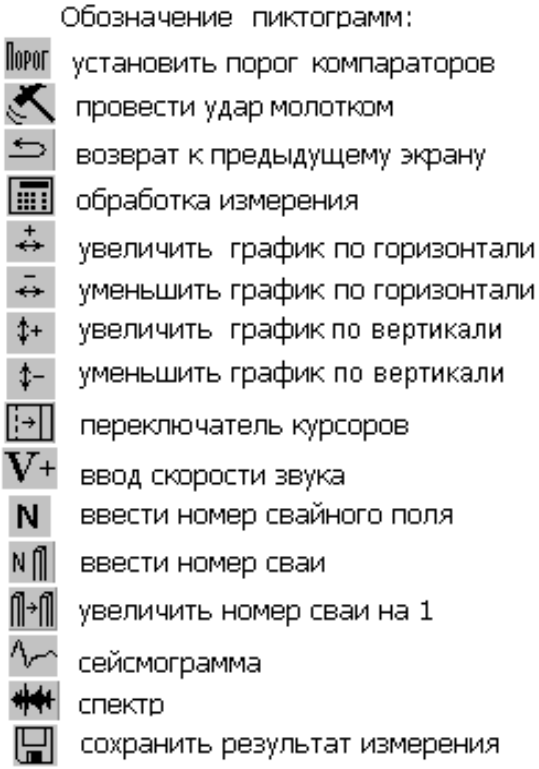


Рисунок 4 – Пиктограммы, поясняющие назначение цифровых клавиш в различных режимах работы прибора

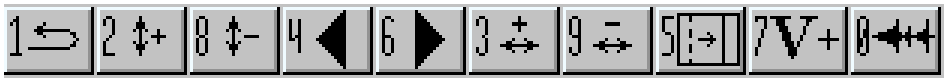


Рисунок 5 – Пример размещения пиктограмм в нижней части дисплея для обозначения функционального назначения клавиш в данном режиме работы прибора

1.4.6 Измерения можно проводить несколькими способами:

– для измерений скорости распространения звука используются два сейсмоприемника и молоток с встроенным пьезодатчиком (молоток поставляется по специальному заказу).

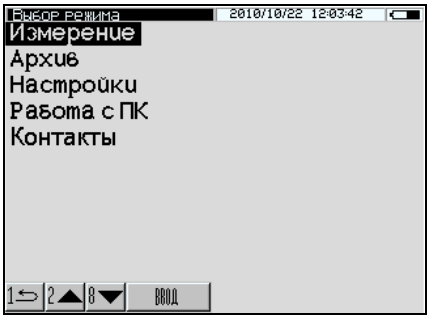
– для определения длины сваи используется один сейсмоприемник и молоток с упругим демпфером, входящий в комплектацию прибора (второй сейсмоприемник можно использовать для дублирования сигнала). Для контроля силы удара и для возбуждения в свае высокочастотных колебаний можно использовать молоток с встроенным пьезодатчиком.

– для определения спектра колебаний сваи используется один сейсмоприемник (второй сейсмоприемник можно использовать для дублирования сигнала) и молоток с упругим демпфером.

– для построения сейсмического профиля грунта используется два сейсмоприемника с приспособлением для установки сейсмоприемников на грунт, кувалду или темпер.

1.4.6 ***Режимы работы прибора***

1.4.6.1 Прибор обеспечивает четыре рабочих режима, выбор которых осуществляется в основном меню **«Выбор режима»** (1) клавишами «↑, ↓» путем перемещения курсора на выбранный пункт меню и его фиксации клавишей **ВВОД**.



(1)

1.4.6.2 В режиме **«Измерение»** осуществляется регистрация сейсмосигнала и измерение его параметров, прибор автоматически переходит в режим «Измерение» при включении питания. Для возврата в основное меню (1) нажать клавишу **«1»**.

1.4.6.3 В режиме **«Архив»** осуществляется просмотр содержимого архива. Для входа в режим «Архив» необходимо в основном меню (1) клавишами «↑» или «↓» переместить курсор на пункт «**Архив**» и нажать клавишу **ВВОД**. Просмотр содержимого архива производится нажатием клавиш «↑» и «↓». Для возврата в основное меню (1) нажать клавишу **РЕЖИМ**.

1.4.6.4 В режиме **«Настройки»** производятся настройки параметров измерений, а так же установка реального времени и даты (число, месяц, год). Для входа в режим «Настройки» необходимо в основном меню (1) клавишами «↑» или «↓» переместить курсор на пункт «**Настройки**» и нажать клавишу **ВВОД**. Для возврата в основное меню (1) нажать клавишу **«1»**.

1.4.6.5 В режиме **«Работа с ПК»** производится передача результатов измерений из архива в ПК для дальнейшей обработки. Для входа в режим «Работа с ПК» необходимо в основном меню (1) клавишами «↑» и «↓» переместить курсор на пункт «**Работа с ПК**» и нажать клавишу **ВВОД.** Возврат в основное меню (1) происходит после отсоединения прибора от ПК

1.4.6.6 В режиме **«Контакты»** выводится информационное сообщении о предприятии изготовителе, его контактные телефоны и сайт. Для входа в режим «Контакты» необходимо в основном меню (1) клавишами «↑» или «↓» переместить курсор на пункт «**Контакты**» и нажать клавишу **ВВОД.** Для возврата в основное меню (1) нажать клавишу **«1»**.

1.5 Маркировка и пломбирование

1.5.1 Маркировка

На передней панели электронного блока нанесены:

− наименование и обозначение типа прибора;

− товарный знак и наименование предприятия-изготовителя.

На крышке электронного блока нанесены:

− наименование и обозначение типа прибора;

− заводской номер;

− дата выпуска;

− предприятие изготовитель;

− знак утверждения типа.

1.5.2 Пломбирование

Прибор пломбируется при выпуске из производства для защиты от несанкционированного доступа. Место пломбирования – углубление для винта расположенного в верхнем правом углу на передней панели электронного блока. Сохранность пломб в процессе эксплуатации является

обязательным условием принятия рекламаций в случае отказа прибора.

1.5 Упаковка

1.5.1 Для обеспечения сохранности прибора и комплекта принадлежностей при транспортировании применяется укладочный кейс со средствами амортизации из воздушно-пузырчатой пленки, категория упаковки КУ-1 по ГОСТ 23170. Эксплуатационная документация упакована в пакет, изготовленный из полиэтиленовой пленки. Маркировка упаковки производится в соответствии с ГОСТ 14192.

2 Использование по назначению

2.1 Эксплуатационные ограничения

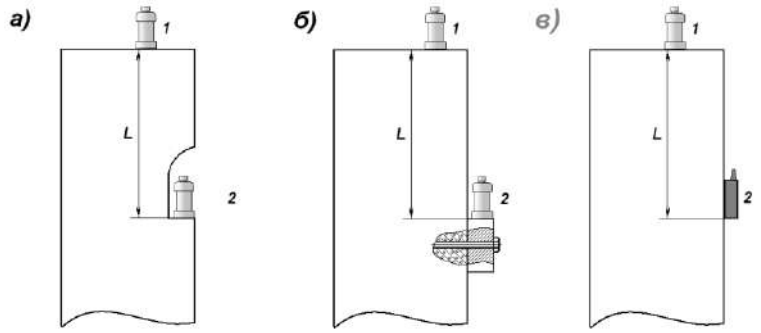
Измерения следует проводить при сейсмоакустической тишине, Не допускается работа сваебойных и буровых установок, дизельных и гидравлических молотов, движение строительной техники и работа прочих технических устройств создающих сейсмическую помеху. Работа оборудование допускается на расстоянии, при котором сейсмоакустическая помеха не будет превышать уровень полезного акустического сигнала.

Вес молотка следует подбирать таким образом, чтобы длительность удара не превышала время отклика.

2.2 Подготовка прибора к работе

2.2.1 Подключить сейсмоприемники и молоток к электронному блоку. Установить сейсмоприемники на сваю. Для установки использовать консистентную акустическую смазку (пластилин, солидол, литол, замазку и т.д.). При нанесении смазки следить, чтобы на поверхности сваи и датчика не образовывалась воздушная прослойка. Перед нанесением смазки удалить с оголовки сваи пыль и посторонние предметы. При отрицательных температурах смазку подогреть. Ось датчика при установке должна быть параллельна оси сваи.

2.2.2 При установке второго сейсмоприемника в свае сделать вырубку или закрепить на свае стальной упор с помощью болта для бетона (см. рисунок 6).



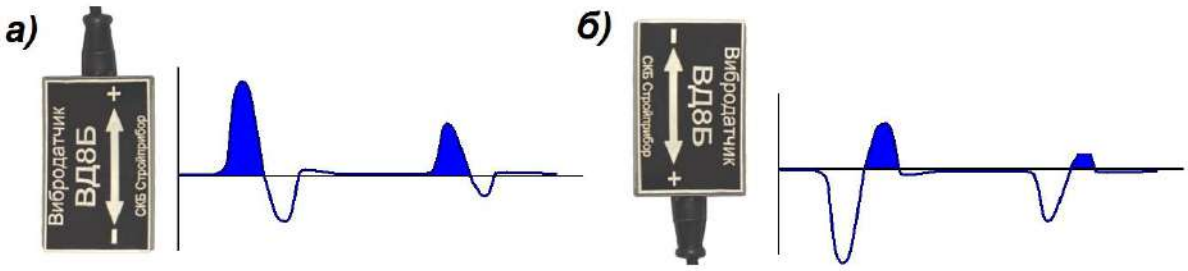
L – расстояние между сейсмоприемниками (база)

а) – установка сейсмоприемника в вырубке б) – установка сейсмоприемника на упоре в) – установка бокового вибродатчика ВД8Б с помощью монтажной ленты.

Рисунок 6 - Расположение сейсмоприемников на железобетонной свае

Если в качестве второго датчика используется боковой датчик ВД8Б, то установить его на боковую поверхность сваи с помощью монтажной ленты с двухсторонним клеящим составом (двусторонний скотч).

При установке бокового датчика ВД8Б следует учитывать, что направление регистрируемых колебаний должны совпадать с направлением стрелки, изображенной на корпусе датчика. Плюс (+) и минус (-) на концах стрелки указывают как будет выглядеть сигнал при прохождении акустической волны в зависимости от установки датчика, кабелем вверх или кабелем вниз (рисунок 7).



а) – датчик установлен кабелем вверх; б) – датчик установлен кабелем вниз
Рисунок 7 – Форма сигнала при различном расположении датчика ВД8Б

2.3 Порядок работы в режиме «Измерение»

2.3.1 Включить прибор однократным нажатием клавиши **ВКЛ**, при этом после звукового сигнала на дисплее кратковременно отображается тип прибора:

После чего дисплей примет вид:

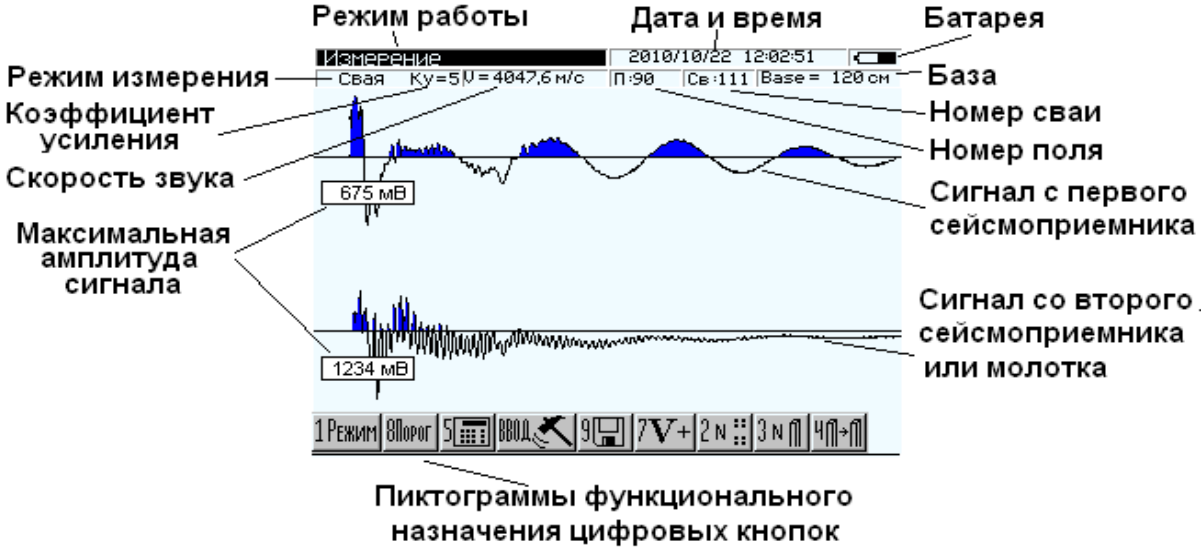


Рисунок 8 – Вид дисплея прибора в режиме измерений

Условно дисплей прибора разбит на три поля (рисунок 8):

1) В верхнем поле отображается режим работы прибора (инверсно); дата и время проведения измерений; уровень заряда аккумуляторной батареи; режим измерения (свая или грунт); коэффициент усиления *Ку*; скорость звука в измеряемой среде V; номер свайного поля; номер сваи; расстояние между сейсмоприемниками (Base).

2) В среднем поле отображаются графики сейсмосигналов по первому и второму сейсмоприемникам. При первом включении на дисплее отображаются графики последних, занесенных в архив, сейсмосигналов.

3) В нижнем поле выводятся пиктограммы функционального назначения цифровых клавиш.

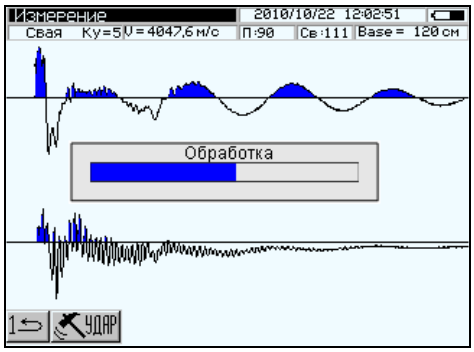
2.3.2 Нажать **ВВОД,** на дисплее появится сообщение:

Если сейсмоприемники установлены, то для подтверждения нажать **ВВОД**.

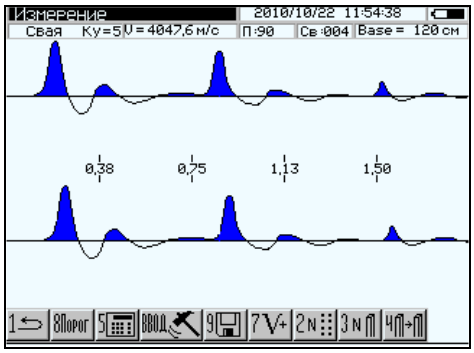
2.3.3 Ввести базу (расстояние между установленными сейсмоприемниками). Ввод базы осуществляется цифровыми клавишами. После окончания ввода базы нажать **ВВОД**.

Примечание – При установке одного сейсмоприемника размер базы не имеет значения. В случае установки одного сейсмоприемника или при использовании второго сейсмоприемника для дублирования первого, нажать **ВВОД**, не принимая во внимание числового значения базы.

2.3.4 Ударить молотком по свае. На дисплее появится индикатор записи сигнала:

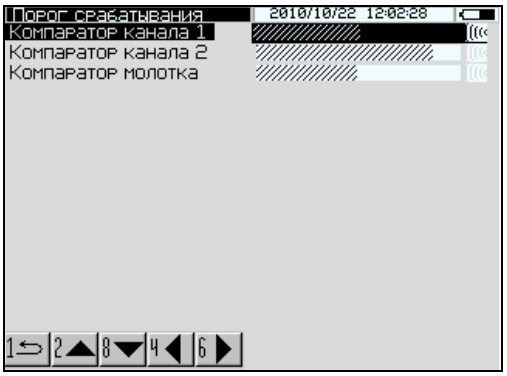


Дисплей прибора примет вид, например:



Для записи результата измерения нажать клавишу «**9**». Для проведения повторного измерения нажать клавишу **ВВОД**.

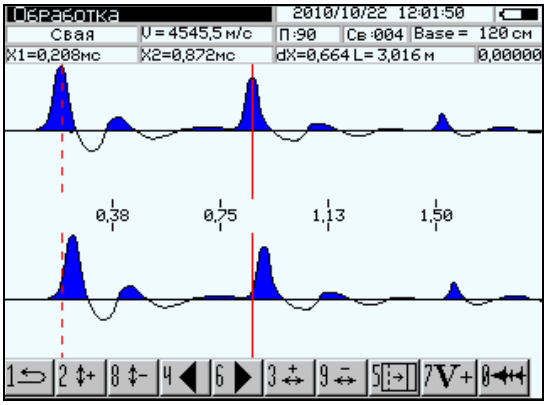
2.3.5 Если после удара молотка процесс измерения не начался, то необходимо настроить порог компараторов и повторить измерение. Для настройки порога компараторов нажать клавишу «↓». Дисплей прибора примет вид:



Клавишами «↑» или «↓» выбрать сейсмоприемник, по которому будет осуществляться запуск измерения (канал 1 или канал 2). Если запуск измерения происходит от молотка, то выбрать пункт «Компаратор молотка». Клавишами «←» или «→» настроить порог срабатывания компаратора выбранного канала или молотка. Контроль установки порога срабатывания компаратора осуществляется по индикатору уровня (рисунок 9). Порог срабатывания компаратора подбирается экспериментально по индикатору запуска (рисунок 9). При ударе по свае индикатор запуска должен окраситься в красный цвет. Если индикатор запуска постоянно имеет красный цвет, то запуск осуществляется по шуму и порог срабатывания компаратора необходимо снизить.

Рисунок 9 – Индикатор уровня и индикатор запуска компараторов

2.3.6 Нажать клавишу «**5**», провести обработку результатов измерения. Дисплей прибора примет вид, например:



На дисплее появляются два вертикальных курсора красного цвета. Активный курсор обозначен сплошной линией. Смена активного курсора производится с помощью клавиши «**5**».

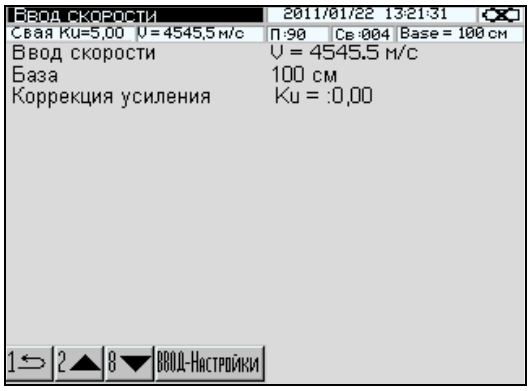
2.3.7 Определить глубину сваи или расстояние до дефекта при помощи двух курсоров. Один из курсоров устанавливается на максимальный уровень сигнала при начальном воздействии на сваю. Второй курсор устанавливается на максимум отраженного сигнала.

Изменение текущего положения курсора производится клавишами «←» (влево) или «→» (вправо). Одно нажатие на клавишу смещает курсор на один элемент изображения. Для ускоренного перемещения курсора необходимо нажать и удерживать клавишу перемещения. Текущее положение курсоров X1 и X2, время между событиями dX и глубина L отображается в верхнем поле дисплея в дополнительном окне оперативной информации:

Положение первого курсора, X1, мс	Положение второго курсора, X2, мс	dX = X2-X1, с	Глубина L, м

Изменение масштаба графика по амплитуде производится клавишами «↑» (увеличение), «↓» (уменьшение). Изменение масштаба графика по горизонтали производится клавишами «3» (увеличение), «9» (уменьшение).

2.3.8 Для расчета или ручного ввода значения скорости звука в свае нажать клавишу «**7**». Дисплей прибора примет вид, например:



Для ввода значения скорости звука клавишами «↑» или «↓» установить указатель на пункт «Ввод скорости» и нажать клавишу «**ЦИФРЫ**». Ввести требуемое значение скорости с помощью цифровых клавиш и нажать **ВВОД**.

2.3.8.1 Коррекция усиления. При прохождении по свае амплитуда сигнала уменьшается по экспоненциальному закону. Для того, чтобы амплитуда отраженного сигнала была соизмерима с сигналом при начальном возбуждении, в приборе применена экспоненциальная коррекция усиления (рисунок 10). Коррекция усиления сигнала производится в соответствии со следующей формулой:

$$s_2(n) = s_1(n) \cdot z \qquad z = e^{Ku \cdot \beta \cdot n} \tag{4}$$

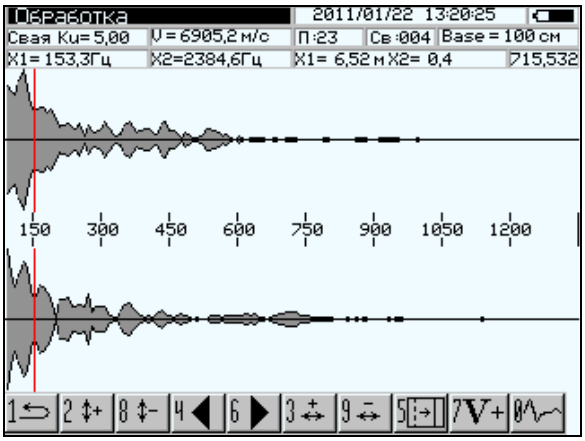
где Ku – коэффициент задаваемый пользователем ($Ku = 0..9$);

β – коэффициент ($\beta = 0{,}001$);

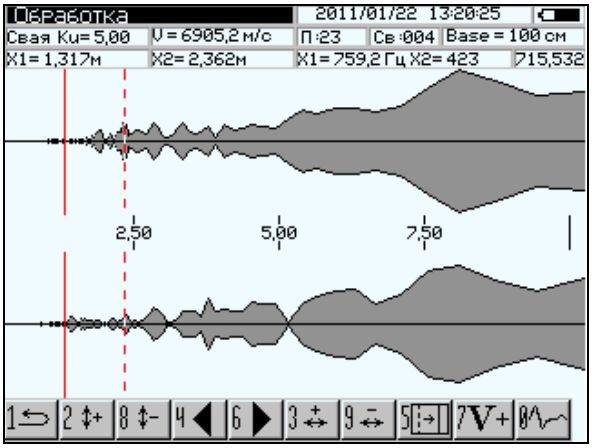
n – номер выборки. При $Ku = 0$ $z = 1$.

Рисунок 10 – Коррекция усиления сигнала

2.3.9 Спектр сигнала. Для получения спектра сигнала в режиме просмотра «Обработка» нажать клавишу «**0**». Дисплей прибора примет вид, например:



Перемещение и смена курсоров производится аналогично, описанному в п.п. 2.3.6, 2.3.7. В зависимости от настроек можно отображать спектр собственных частот колебания сваи в Герцах или отображать спектр в единицах длины волны, метрах:

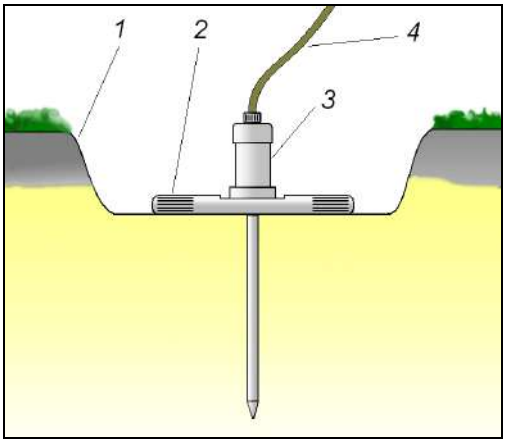


Для перехода к отображению сейсмограммы повторно нажать клавишу «**0**».

Вычисление спектра сигнала используется при спектральной сейсморазведке. Принцип работы этого метода заключается в обработке спектральной составляющей сейсмограммы. По полученному спектру можно выявить как дефекты в свае, так и получить сейсмопрофиль грунта. Для получения сейсмопрофиля грунта через небольшое расстояние (0,5 - 1 метр) установить сейсмоприемники, нанести удар по земле кувалдой или темпером и записать с помощью прибора сейсмограмму. Сейсмоприемник устанавливается на поверхности грунта при помощи специального приспособления (рисунок 11).

Рисунок 11 - Приспособления для крепления сейсмоприемников на грунт

При установке сейсмоприемника верхний слой грунта необходимо снять (рисунок 12).



1 – верхний слой грунта; 2 – приспособление для крепления сейсмоприемника на грунт; 3 – сейсмоприемник; 4 – кабель сейсмоприемника

Рисунок 12 – Крепление сейсмоприемника на грунте

Удар по грунту проводят с помощью кувалды или специального устройства – темпера (рисунок 13). Каждый профиль обрабатывается, и получается сейсморазрез (рисунок 13).

Рисунок 13 – Темпер

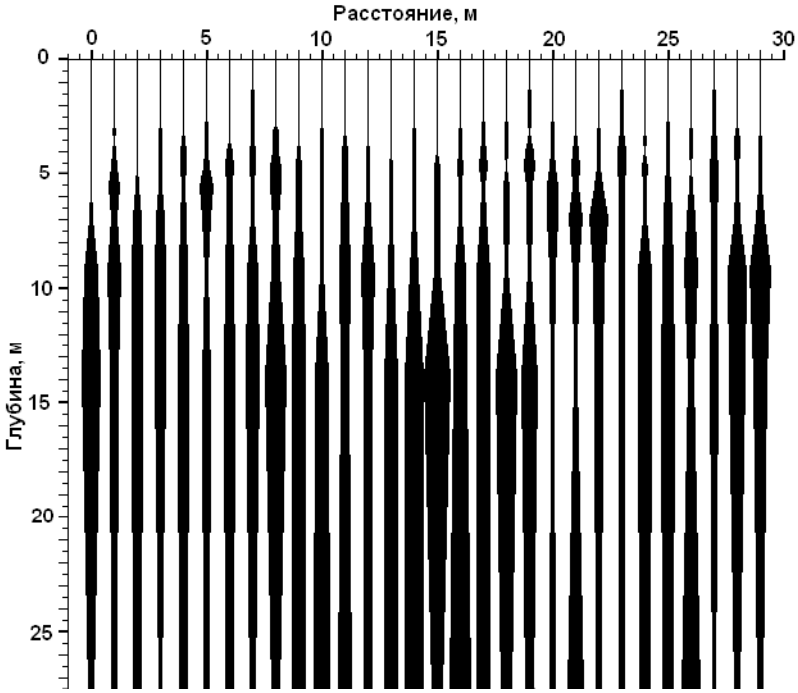


Рисунок 14 – Спектральный сейсмопрофиль грунта

Вышеописанный метод сейсморазведки относится к 1D, когда источник и приёмник совмещены. При исследовании грунта методом отраженных волн (2D) необходимо воспользоваться геофонами с кабелем-удлинителем, которые поставляются по спецзаказу. Запуск измерения происходит по установленному рядом с источником возбуждения волн сейсмоприемнику, подключенному к каналу «Молоток».

2.4 Порядок работы в режиме «Архив»

Данный режим служит для сохранения и последующего просмотра результатов измерений. Объем архивируемых результатов – 999.

2.4.1 Для просмотра содержимого архива нажатием клавиши **«1»** войти в основное меню к экрану **«Выбор режима»**, нажатием клавиш «↑» или «↓» выбрать пункт «**Архив**» и нажать клавишу **ВВОД**. Дисплей при этом примет вид, например:

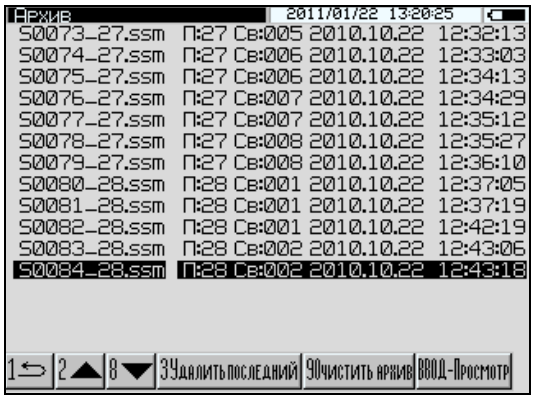


Таблица архива имеет пять столбцов:

– имя файла;

– номер свайного поля;

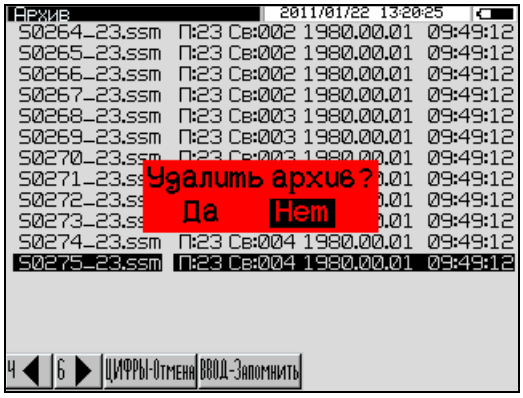
– номер сваи;

– дата проведения измерений;

– время проведения измерений.

Для просмотра и обработки требуемой записи при помощи клавиш «↑» и «↓» выбрать имя файла и нажать **ВВОД**. Обработка записи проводится аналогично, описанному в режиме «Измерение» п. 2.3.

2.4.2 Для удаления последней записи в архиве нажать клавишу «3». Для удаления всех записей из архива нажать клавишу «9». На дисплее прибора появится сообщение:



При помощи клавиши «←» или «→» выбрать требуемое действие и нажать **ВВОД**.

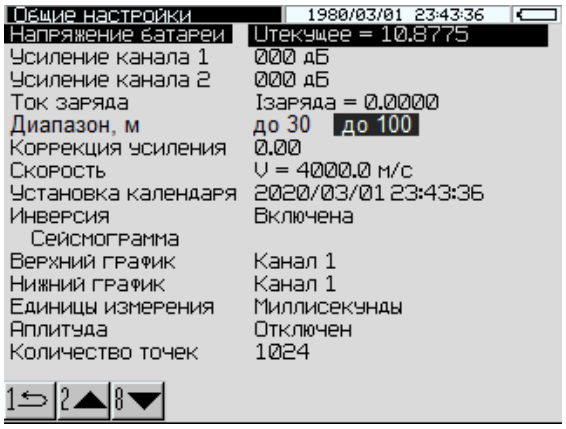
2.4.3 Возврат из режима «Архив» к экрану «Выбор режима» осуществляется нажатием

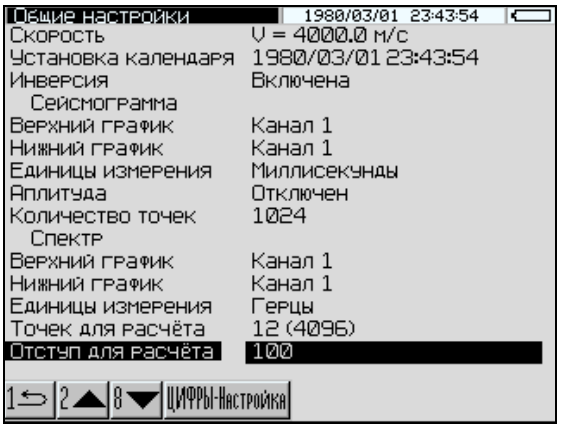
клавиши «1».

2.5 Порядок работы в режиме «Настройки»

Режим «**Настройки**» предназначен для ввода параметров используемых при измерении и обработке сигнала, а так же для ввода даты и времени.

2.5.1 Для перевода прибора в режим «Настройки» необходимо нажатием клавиши «**1**» перейти в основное меню к экрану **«Выбор режима»**, клавишами «↑» и «↓» выбрать пункт «**Настройки**» и нажать клавишу **ВВОД**. Дисплей прибора примет вид, например:





2.5.2 Параметры в режиме **«Настройки»** могут изменяться пользователем или иметь информационный характер. Информационный характер имеют параметры, связанные с состоянием аккумуляторной батареи:

− напряжение батареи, В;

− ток заряда, А.

2.5.2.1 Усиление канала 1 (2). Пользователь может изменить коэффициент усиления (чувствительность) канала №1 или канала №2, изменив числовое значение данного параметра. Для изменения коэффициента усиления клавишами «←» или «→» ввести требуемое число. Коэффициент усиления может принимать следующие значения: 0; 5; 10; 15; 20; 26.

2.5.2.2 «Диапазон, м». Выбор диапазона измерения до 30 метров (до 30) или до 100 метров (до 100). Глубина указана при условии, что скорость звука в материале равна 4000 м/с (средняя скорость звука в бетоне).

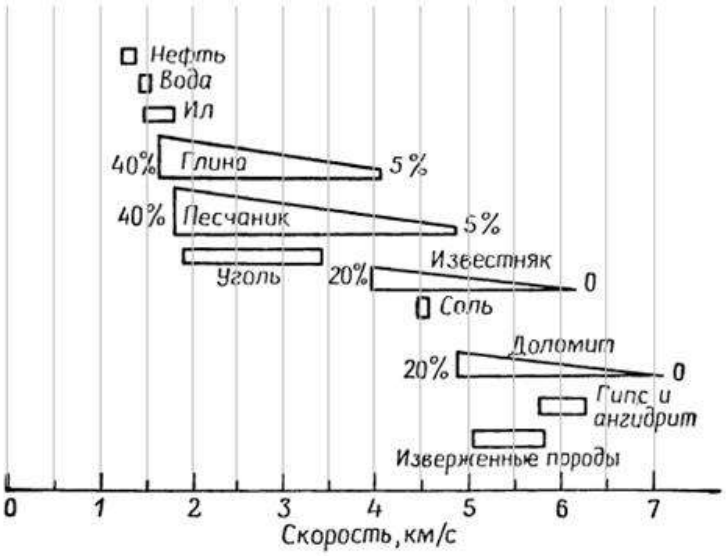


Рисунок 15 – Скорость продольных волн в породах различных типов. Для глин, песчаников, известняков и доломитов указана так же зависимость от пористости в процентах

При выборе режима измерений «до 30» временной интервал уменьшается, а при выборе режима измерений «до 100» временной интервал записи увеличивается. Для получения сейсмопрофиля грунта следует выбирать диапазон до 100 метров, так как скорость распространения звука в грунте, как правило, много меньше, чем в бетоне и временной интервал записи сейсмограммы следует увеличить. Например, для глин и большинства грунтов средняя скорость звука составляет около 2000 м/с, следовательно, и максимальная глубина зондирования для этих грунтов не превысит 50 метров. На рисунке 15 приведены скорости продольных волн в породах различных типов.

Выбор режима измерений «до 30» или «до 100» производится клавишами» ←» или «→».

2.5.2.3 Коррекция усиления. В режиме «Настройки» дублируется параметр коррекции усиления, изложенный в пункте 2.3.8.1.

2.5.2.4 Скорость. В данном пункте настроек вводится скорость звука в материале. Для ввода нового значения нажать клавишу **ЦИФРЫ**, ввести требуемое число и нажать **ВВОД**.

2.5.2.5 Установка календаря. Вводится год, месяц, число, часы, минуты и секунды. Для ввода нового значения даты и времени нажать клавишу **ЦИФРЫ**, ввести дату и время с помощью цифровых клавиш и нажать **ВВОД**.

2.5.2.6 Инверсия. График сигнала, для удобства пользователя, можно отображать как в прямом, так и в инверсном (перевернутом) виде (рисунок 16)

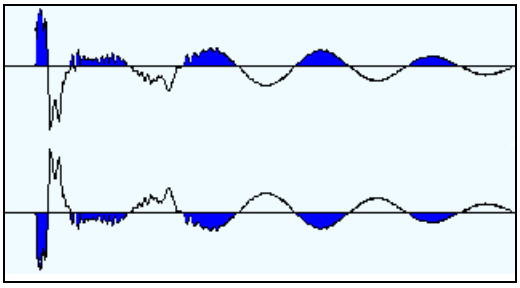


Рисунок 16 – Инверсия сигнала

Для инвертирования сигнала клавишами «←» или «→» выбрать требуемый вид.

2.5.2.7 Сейсмограмма. В данном пункте настроек производится настройка формата вывода сейсмограмм, вывод максимального значения амплитуды сигнала и единиц величин по оси X на дисплее прибора. Формат вывода может принимать следующие значения:

− верхний график (Канал 1/ Канал 2 / Молоток);

− нижний график (Канал 1/ Канал 2 / Молоток);

− единицы величин (миллисекунда / метр).

− амплитуда (Откл. / мВ / дБ)

Выбор расположения сейсмограмм и единиц величин на экране дисплея производится клавишами «←» или «→».

Для ввода количества точек сейсмограммы нажать клавишу **ЦИФРЫ**, ввести требуемое число и нажать **ВВОД**.

2.5.2.8 Спектр. В данном пункте настроек производится настройка формата вывода спектра и единиц измерения по оси X на дисплее прибора. Формат вывода может принимать следующие значения:

− верхний график (Канал 1/ Канал 2 / Молоток);

− нижний график (Канал 1/ Канал 2 / Молоток);

− единицы величин (Герц / метр).

Выбор расположения сейсмограмм и единиц величин на экране дисплея производится клавишами «←» или «→».

Так как при вычислении спектра требуется количество точек 2^N, то необходимо ввести степень числа N. Степень числа может принимать три значения: N=11 2^{11} = 2048; N=12 2^{12} = 4096; N=13 2^{13} = 8192. Выбор числа N производится клавишами «←» и «→».

Отступ для расчета. Чтобы при расчете спектра исключить влияние начального участка сейсмограммы при ударе, вводится количество точек, которые необходимо пропустит при вычислениях.

Для ввода количества точек отступа для расчета спектра нажать клавишу **ЦИФРЫ**, ввести требуемые число и нажать **ВВОД**.

2.6 Порядок работы в режиме «Работа с ПК»

2.6.1 *Системные требования к ПК*

Для работы программы необходима система, удовлетворяющая следующим требованиям:

– операционная система Windows 2000, ME, XP, 7, 8, 10 © Microsoft Corp;

– один свободный USB-порт.

2.6.2 *Назначение, установка и возможности программы*

2.6.2.1 Программа предназначена для обработки данных из архива прибора ПДС-МГ4 фирмы ООО «СКБ Стройприбор» на персональном компьютере.

2.6.2.2 Установка программы

Для установки программы запустить на поставляемом с прибором диске установочный файл X:\Programs\ПДС-МГ4\pds_1.0.1.1_setup.exe и следовать подсказкам «Мастера установки ПДС-МГ4» (рисунок 17).

По завершению установки программа будет доступна в меню «Пуск» → «Программы» → «Стройприбор» → «Прием данных».

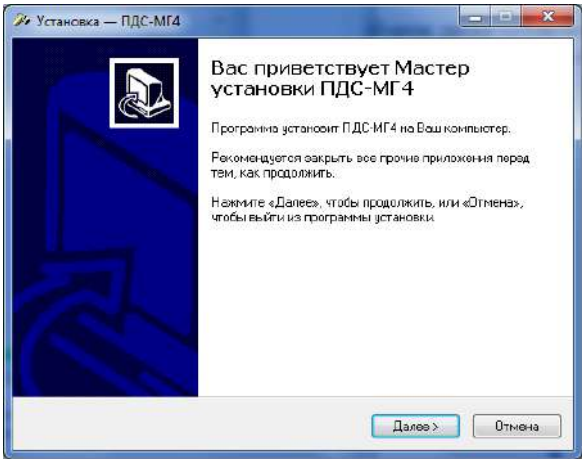


Рисунок 17 - Окно «Мастера установки ПДС-МГ4»

2.6.2.3 Возможности программы:

− чтение данных из архива прибора с последующим сохранением на диске ПК;

− просмотр и обработка экспериментальных данных, занесение служебной информации в поле «Комментарий» для каждого измерения;

− дополнение данных в ПК новыми данными из архива прибора;

− распечатка и экспорт данных.

2.6.3 *Подключение прибора к ПК*

2.6.3.1 Перевести прибор в режим передачи данных из архива в ПК, для чего, нажатием клавиши **«1»** перевести прибор в основное меню к экрану «**Режим**», клавишами ↑ и ↓ выбрать пункт «**Работа с ПК**» и, нажать клавишу **ВВОД.** На дисплее появится информационное сообщении о размере памяти Flash – накопителя, типе файловой системы и количестве записей.

2.6.4.2 Соедините компьютер и прибор с помощью USB-кабеля, который идёт в комплекте. Операционная система обнаружит новый съемный диск PDS_MG4, который содержит три папки: Docs, Metering, Tools (рисунок 18). В Docs находится документация по работе с прибором. Папка Metering содержит архив прибора — файлы *.ssm (рисунок 19). Программное обеспечение хранится в папке Tools.

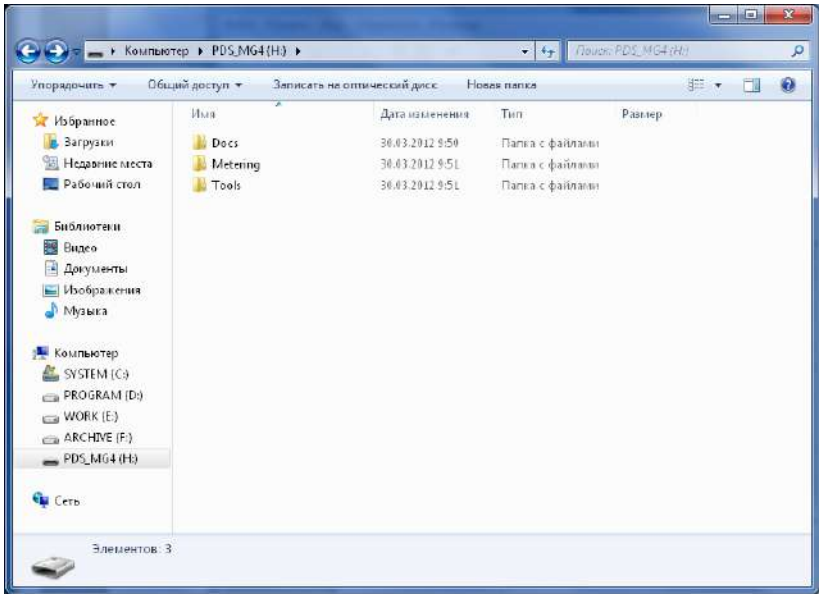


Рисунок 18 - Структура диска PDS_MG4

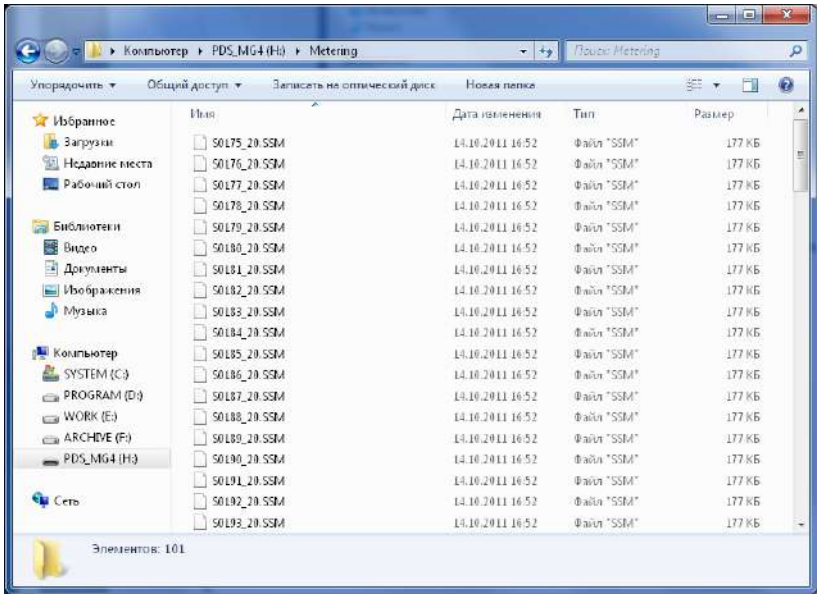


Рисунок 19 - Архив прибора на диске PDS_MG4

2.6.4 *Прием данных с прибора*

2.6.4.1 Запустить программу: Пуск \ Программы \ Стройприбор \ ПДС-МГ4 \ программа. Создать новый проект, в который будет производиться чтение данных из архива прибора: Файл \ Создать (рисунок 20 и 21).

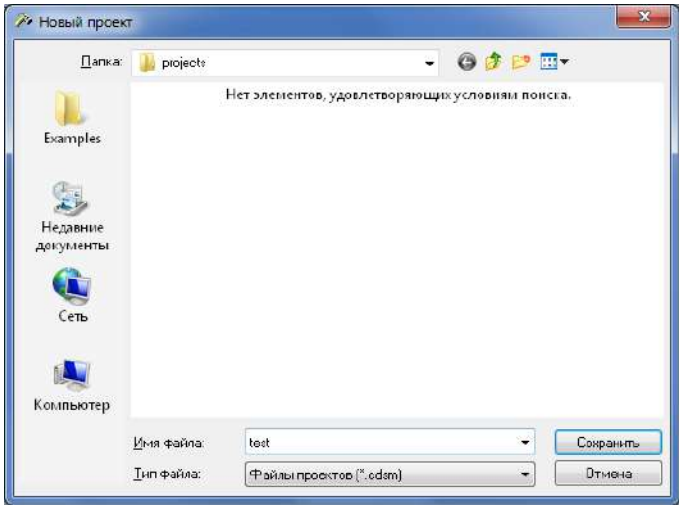


Рисунок 20 - Окно присвоения имени новому проекту

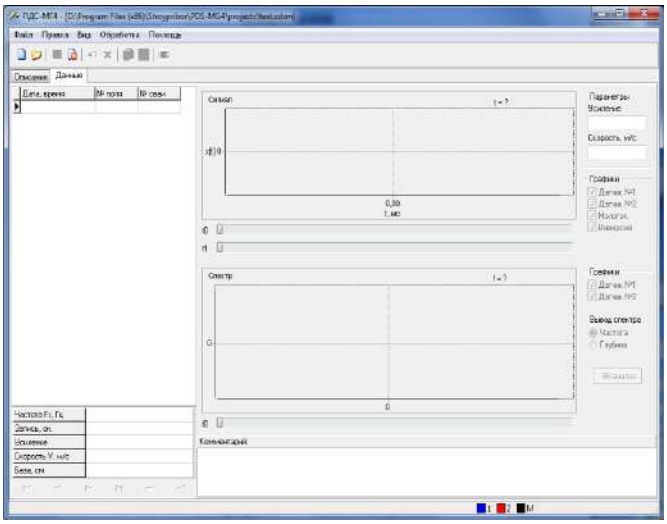


Рисунок 21 - Окно программы с новым пустым проектом

Указать папку с архивом прибора: Обработка \ Добавить файлы (рисунок 22). На экране отобразится процесс чтения данных из прибора и результаты: количество прочитанных файлов и сколько из них было добавлено в проект (рисунок 23). На рисунке 24 показано окно программы с прочитанными данными.

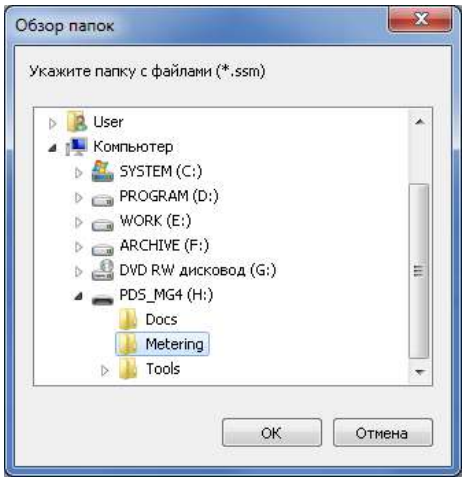


Рисунок 22 - Выбор папки с архивом прибора

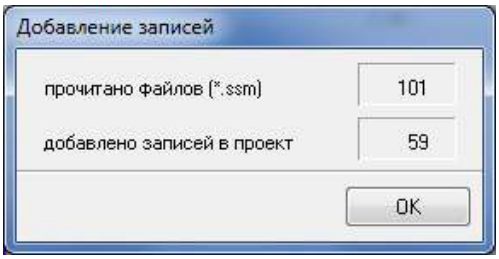


Рисунок 23 - Результат чтения архива

Вкладка «Описание» содержит поле для описания всего проекта. На вкладке «Данные» находится таблица с содержимым проекта, область с графиками, поле «Комментарий» для ввода примечания к каждой записи.

Для сохранения внесённых в проект изменений следует выбрать: Файл \ Сохранить. Если проект уже содержит некоторые данные после предыдущего чтения, то при последующем чтении архива, будут добавлены только новые данные.

Закрыть текущий проект и открыть новый можно через меню Файл. Выход их программы: Файл \ Выход.

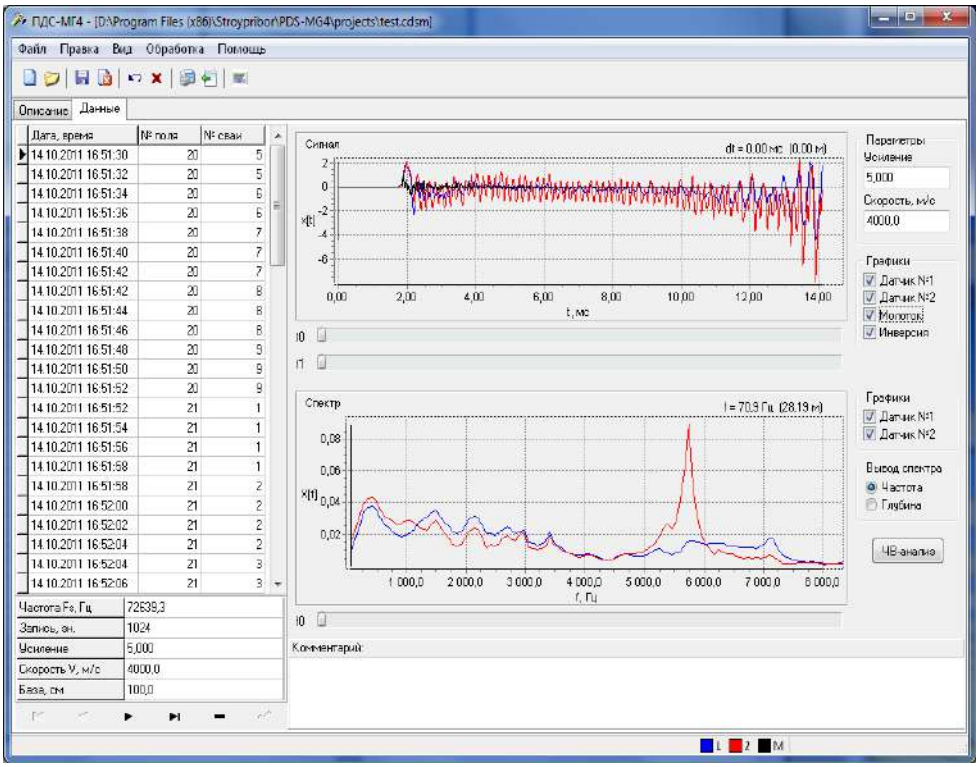


Рисунок 24 - Окно программы с прочитанными данными

Некоторые действия программы (создание / открытие / закрытие проекта, удаление всех записей, отмена сделанных изменений и пр.) продублированы с помощью клавиш на панели инструментов.

2.6.5 *Обработка данных*

Каждая строка таблицы соответствует одному файлу из архива прибора. Под таблицей выводится сводная информация об эксперименте (частота дискретизации Fs, длина записи и пр.). Записанный сигнал и его амплитудный спектр отображаются на графиках. Передвигая движки курсоров t0 и t1 (под графиком «Сигнал»), можно определить интервал времени dt и

соответствующую ему глубину (рисунок 25). Для расчёта глубины используется значение скорости из блока «Параметры». Задавая различные значения параметра «Усиление», можно усилить слабый сигнал при поиске эхо-сигнала. Усиление производится по экспоненциальному закону, оптимальный диапазон от 0 до 5. Чтобы новые значения параметров «Скорость» и «Усиление» вступили в силу, необходимо после их изменения нажать клавишу Enter.

В блоке «Графики» можно выбрать выводимые сигналы, инвертировать все сигналы.

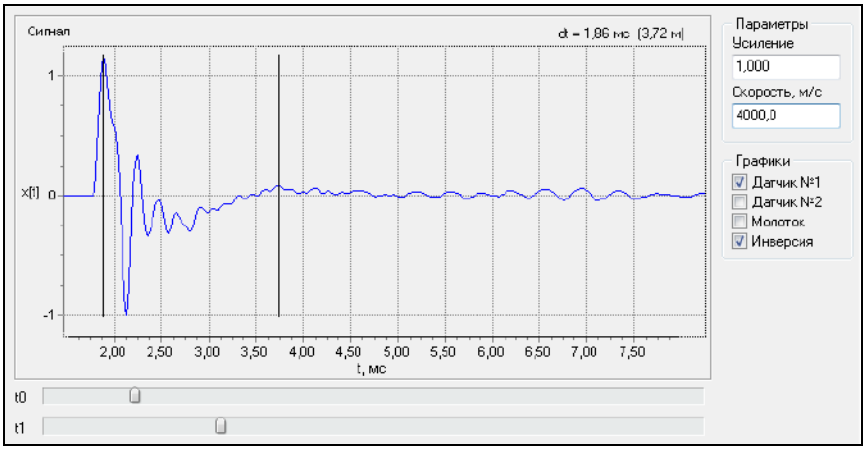


Рисунок 25 - График «Сигнал»

Амплитудные спектры сигналов отображаются на графике «Спектр» (рисунок 26). Передвигая движок курсора f0 (под графиком), можно определить частоту спектральной компоненты и соответствующую ей глубину. Для расчёта глубины используется значение скорости из блока «Параметры».

В блоке «Графики» можно выбрать выводимые спектры. Блок «Вывод спектра» служит для переключения типа горизонтальной оси: частота или глубина.

Печать отчёта: Файл \ Отчёт. На экране появится окно с предварительным просмотром отчёта (рисунок 27). Для отправки отчёта на печать нажать клавишу с изображением принтера («Печать отчёта»). Чтобы сохранить отчёт в графическом файле *.jpg нажать клавишу «Сохранить отчёт в файле»

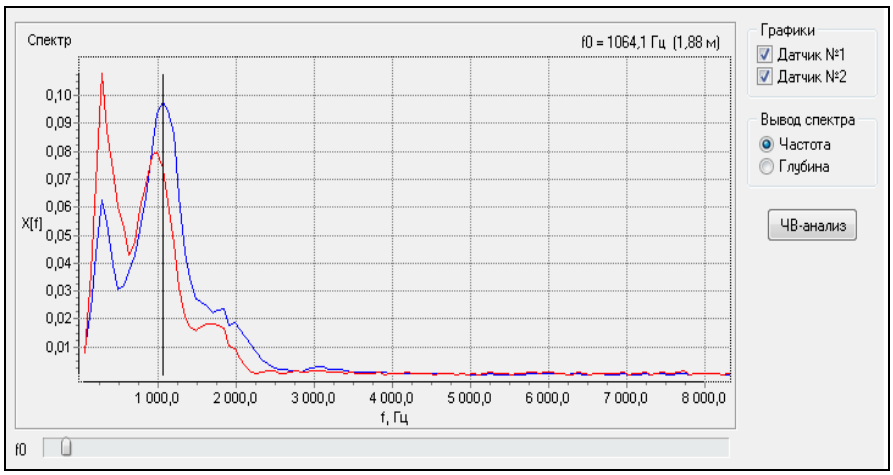


Рисунок 26 - График «Спектр»

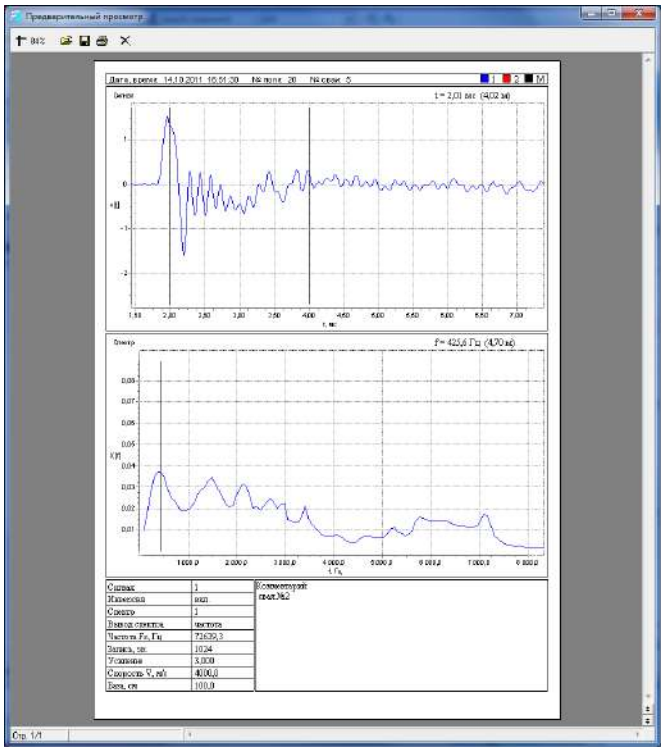


Рисунок 27 - Окно предварительного просмотра отчёта

Клавиша «ЧВ - анализ» служит для перехода к частотно-временному анализу (открывается в отдельном окне, рисунок 28). Вверху находится график сигнала, внизу — спектр и поле частотно-временного графика. Для построения частотно-временного графика нажать клавишу «Вычислить». Теоретические основы данного анализа приведены в Приложении А.

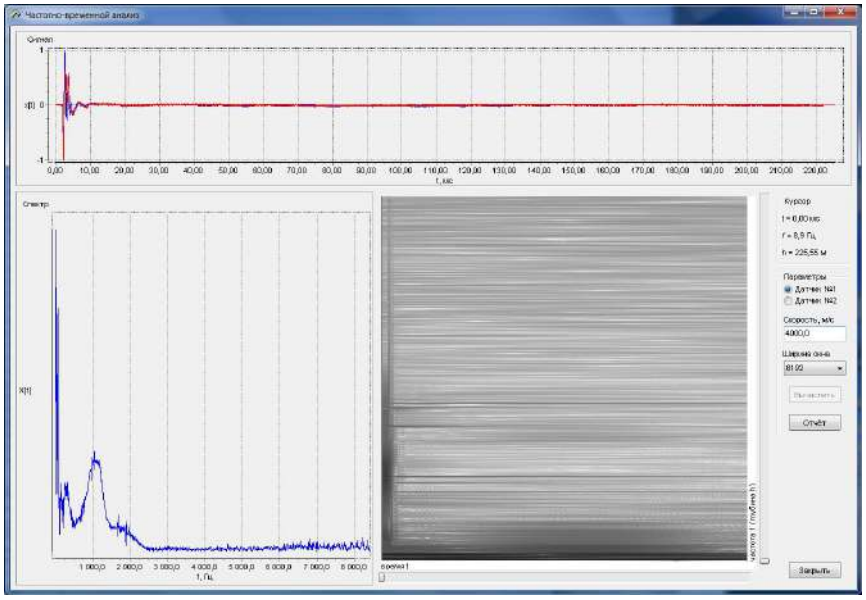


Рисунок 28 - Окно частотно-временного анализа

Перед вычислением в блоке «Параметры» выбирается датчик, сигнал которого будет обрабатываться, скорость звука и ширина окна частотно-временного преобразования. Также доступны курсоры по осям времени и частот (глубин). Чтобы новое значение параметра «Скорость» вступило в силу, нужно после его изменения нажать клавишу Enter. Для печати отчёта частотно-временного анализа нажать клавишу «Отчёт». На рисунке 29 показано окно предварительного

просмотра отчёта.

2.6.6 Экспорт данных

Программа позволяет экспортировать содержимое проекта в файл с расширением *.csv. Такие файлы поддерживаются во многих распространённых пакетах обработки табличных данных (например, Excel). Для экспорта указать имя файла: Файл\ Экспорт.

Файл экспорта содержит 4 колонки значений, разделённых точкой с запятой. Первая колонка − это время (секунды), остальные − нормированные значения сигналов: датчик №1, датчик №2, молоток.

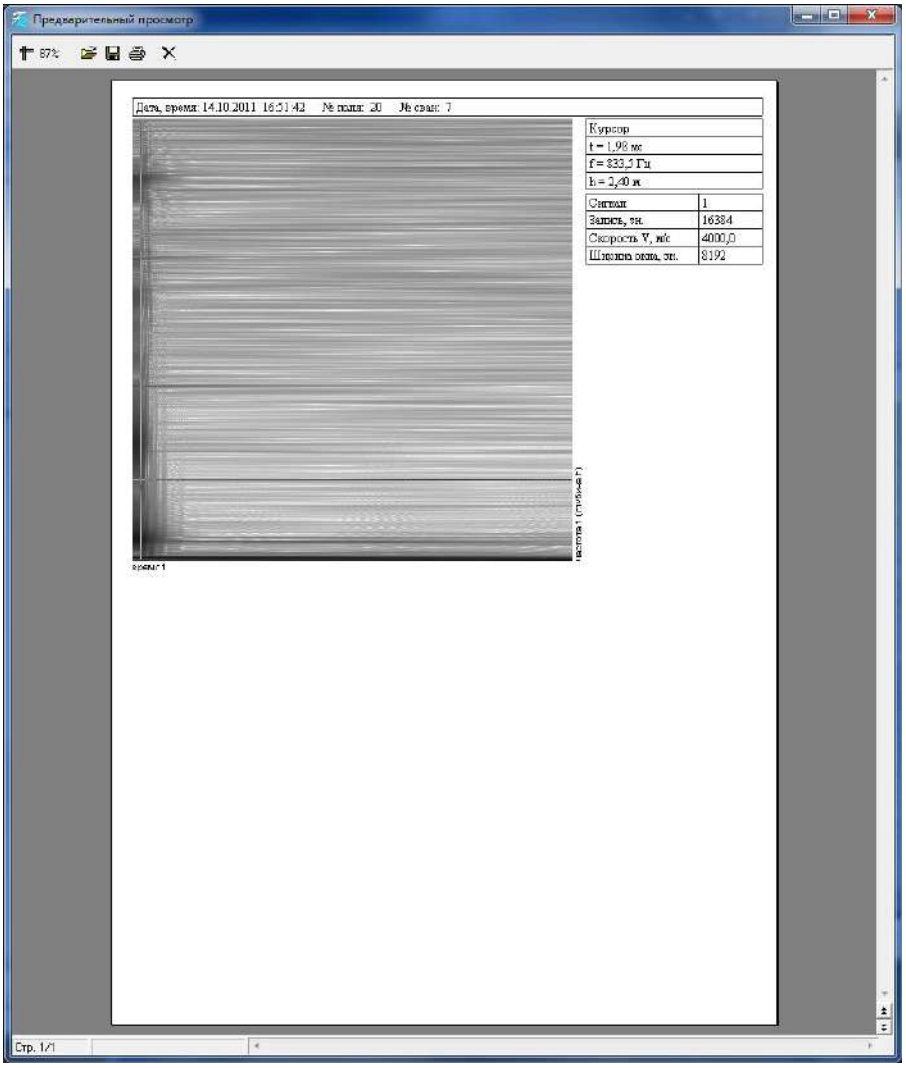


Рисунок 29 - Окно предварительного просмотра отчёта частотно-временного анализа

2.6.7 Для возврата в основное меню нажать клавишу **«1»**.

3 Техническое обслуживание

3.1 Меры безопасности

3.1.1 К работе с прибором допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности в строительстве.

3.2 Порядок технического обслуживания

3.2.1 Техническое обслуживание прибора включает:

− профилактический осмотр;

− планово-профилактический и текущий ремонт.

3.2.2 Периодичность профилактических осмотров устанавливается в зависимости от интенсивности эксплуатации прибора, но не реже одного раза в год. При профилактическом осмотре проверяется крепление органов управления, плавность их действия и четкость фиксации, состояние соединительных элементов, кабелей и лакокрасочного покрытия.

3.2.3 Планово-профилактический ремонт производится после истечения гарантийного срока не реже одного раза в год. Ремонт включает в себя внешний осмотр, замену органов управления и окраску прибора (при необходимости).

3.2.4 При текущем ремонте устраняют неисправности, обнаруженные при эксплуатации прибора. После ремонта проводится градуировка прибора. Текущий ремонт и градуировка прибора проводятся разработчиком-изготовителем.

4 Поверка

Приборы до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной а в процессе эксплуатации периодической поверке.

4.2 Поверка проводится по документу «Приборы диагностики свай ПДС-МГ4. Методика поверки МП 4202/2-2020», утвержденному ФБУ «УРАЛТЕСТ»

Интервал между поверками – 12 месяцев.

5 Хранение

5.1 Упакованные приборы должны храниться в закрытых сухих вентилируемых помещениях в не распакованном виде. Условия хранения в части воздействия климатических факторов должны соответствовать группе условий 1 (Л) по ГОСТ 15150

5.2 В воздухе помещения для хранения приборов не должно присутствовать агрессивных примесей (паров кислот, щелочей).

6 Транспортирование

6.1 Допускается транспортирование приборов в транспортной таре всеми видами транспорта, в том числе в отапливаемых герметизированных отсеках самолетов без ограничения расстояния. Условия транспортирования в части воздействия климатических факторов должны соответствовать группе 2 (С) по ГОСТ 15150.

6.2 При транспортировании приборов должна быть предусмотрена защита от попадания пыли и атмосферных осадков.

Приложение А

Теоретические основы спектрально временного анализа

Неразрушающий экспресс контроль сплошности свай методом «СОНИК» позволяет определять длину и дефекты в свае только на основе анализа сейсмограммы (рефлектограммы). Чтобы расширить возможности этого метода полученную сейсмограмму обрабатывают с помощью преобразования Фурье. По полученному спектру сигнала получаем дополнительную информацию как по длине сваи, так и по глубине расположения дефектов (рисунок П.1).

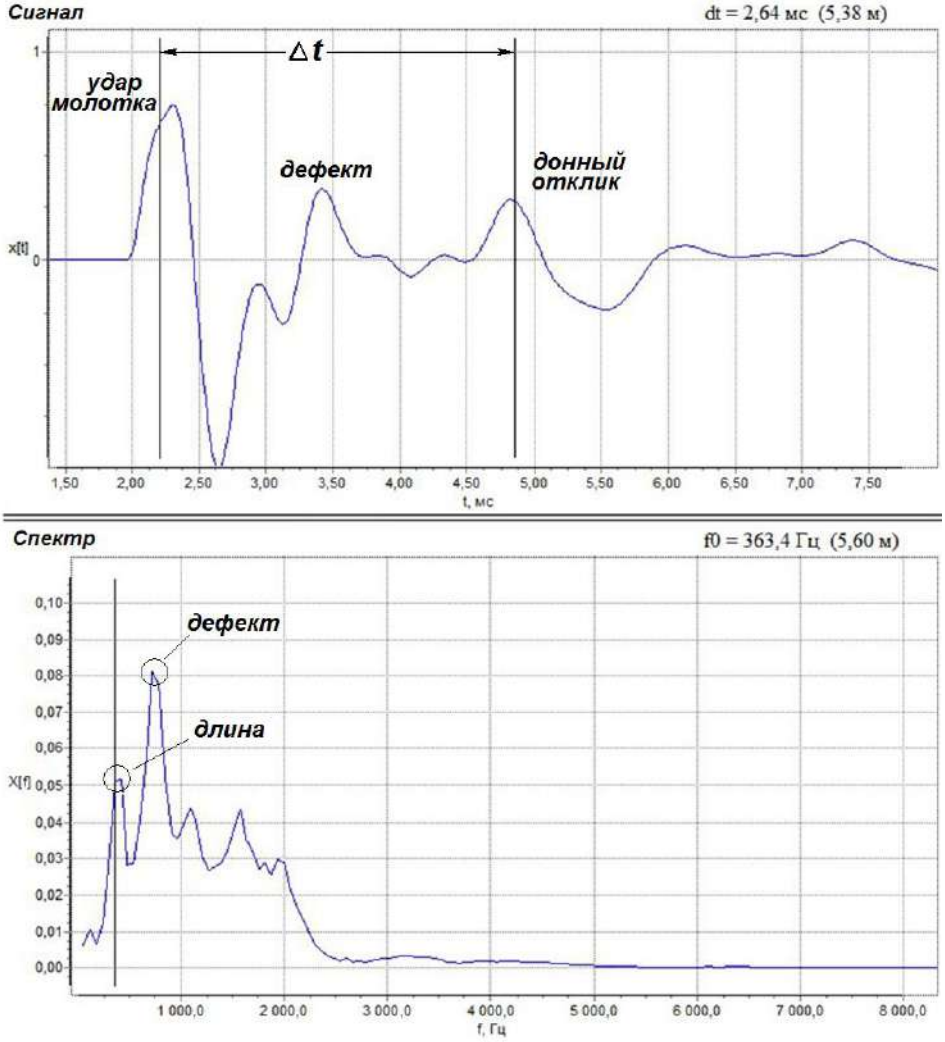


Рисунок П.1 – Сейсмограмма (верхний график) и спектр сигнала (нижний график)

На рисунке П.1 изображена сейсмограмма и спектр сигнала. На основе приведенной сейсмограммы, зная скорость звука в бетоне сваи, можно определить длину сваи (в данном примере L = 5,38 м)

$$L = \frac{\Delta t \cdot V}{2},$$

где V – скорость звука в свае; Δt - промежуток времени между начальным воздействием и откликом

На сейсмограмме так же хорошо виден всплеск сигнала расположенный между донным откликом и сигналом от удара молотка. По сейсмограмме определяется глубина расположения дефекта 2,5 м.

На спектре сейсмограммы хорошо видно увеличение спектральной плотности связанной с дефектом сваи (максимум сигнала) и с длиной сваи.

Классическое преобразование Фурье имеет дело со спектром сигнала, взятым во всем диапазоне существования переменной. Нередко интерес представляет только локальное распределение частот, в то время как требуется сохранить изначальную переменную (обычно время). В этом случае используется оконное преобразование Фурье.

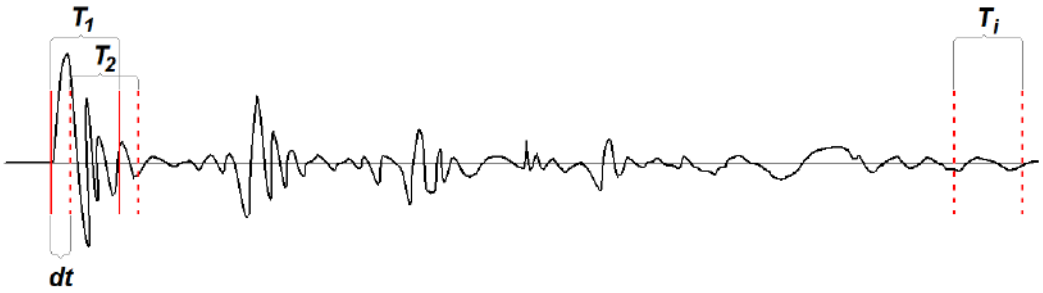
Использование скользящего оконного преобразования Фурье (спектрально-временной анализ) позволяет получать, исследовать и строить в виде спектрограмм динамические спектры и анализировать их поведение во времени. Спектрограмма строится в трёх координатах — частота, время и амплитуда. При этом амплитуда задаётся цветом или оттенком цвета каждого прямоугольника спектрограммы. Зная скорость распространения звука в бетоне можно преобразовать частоту колебаний в глубину.

Использование спектрально временного анализа позволяет выделить частоты собственных колебаний элементов сваи, соответственно расстояние до расположения дефектов и длину сваи:

$$L = \frac{V}{f},$$

где f – частота колебаний.

Изменяя ширину окна можно изменять масштаб глубины. На рисунке П.2 изображен принцип спектрально временного анализа с использованием скользящего оконного преобразования Фурье.



T_1 … T_i – ширина окна и его индекс
dt – смещение окна по оси времени при следующем оконном преобразовании Фурье

Рисунок П.2 – Спектрально временной анализ с использованием скользящего оконного преобразования Фурье.

При спектрально временном преобразовании сигнала в компьютерной программе ПДС необходимо задать ширину окна в выборках. Программа использует алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Исходя из условий БПФ число выборок *T* должно быть кратным 2^n (1024; 2048; 4096; 8192). Чем шире окно, тем на большую глубину можно провести анализ, но уменьшается разрешение на небольших глубинах. Смещение окна, независимо от его ширины, задается постоянным и равным одной выборке. Для уменьшения растекания спектра применяется весовая функция (окно Хэмминга).

Спектрограмма, полученная с помощью скользящего оконного преобразования Фурье, позволяет определить частоты собственных колебаний элементов сваи после удара. На рисунке П.3 приведен пример спектрограммы, на которой хорошо прослеживается частоты связанные как с длиной сваи так и с дефектом расположенном на свае.

При спектрально временном анализе следует учитывать, что данный способ является вспомогательным и его следует применять если нет расхождений с основным методом (сейсмограмма). Кроме того из-за специфики БПФ первые 6..10 гармоник сигнала не всегда соответствуют действительности (рисунок П.3, область L^*).

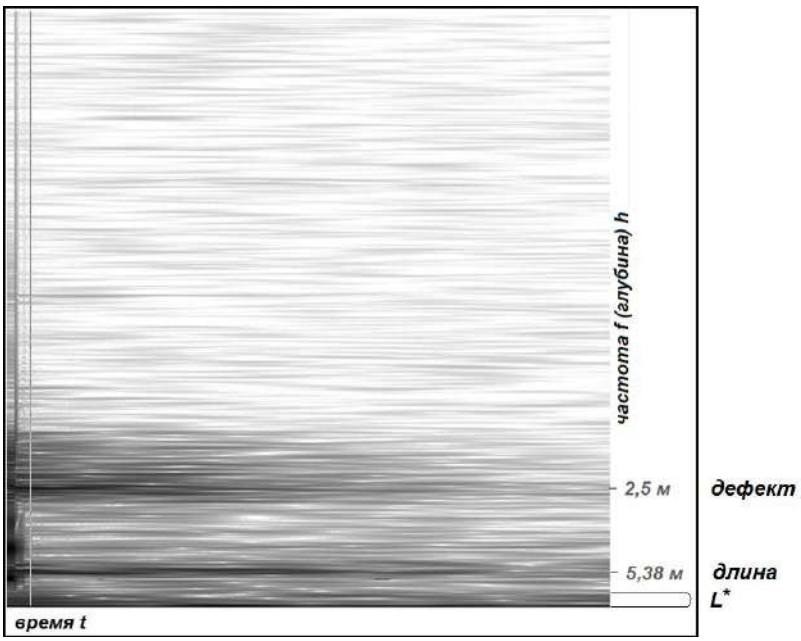


Рисунок П.3 – Спектрограмма.

При нажатии кнопки «Отчет» программа формирует отчет, который можно сохранить в графическом формате *jpg либо напечатать на принтере.

При необходимости, для увеличения контрастности в отчете, спектрограмму можно обработать в любом графическом редакторе.

Приложение Б

Работа прибора в режиме сейсмостанции (для приборов имеющих режим «Сейсмо»)

1 При выборе режима «Сейсмо» прибор переходит в режим работы малоканальной сейсмостанции с возможностью зондировать грунт отраженными и преломленными, акустическими волнами 2D. Данный режим используется в сейсморазведке.

Сейсморазведка – геофизический метод изучения геологических объектов с помощью упругих колебаний - сейсмических волн. Этот метод основан на том, что скорость распространения и другие характеристики сейсмических волн зависят от свойств геологической среды, в которой они распространяются: от состава горных пород, их пористости, трещиноватости, флюидонасыщенности, напряженного состояния и температурных условий залегания.

Методика сейсморазведки основана на изучении кинематики волн или времени пробега различных волн от пункта их возбуждения до сейсмоприемников, улавливающих скорости смещения почвы, и их динамики или интенсивности волн.

В сейсморазведке различают два основных метода: метод отраженных волн (МОВ) и метод преломленных волн (МПВ).

В наземной сейсморазведке сейсмоприемники располагаются вдоль прямых линий (профилей) на поверхности земли. В качестве сейсмоприемников используются геофоны электродинамические как вертикальные, так и горизонтальные (рисунок ПБ.1).

Рисунок ПБ.1 – Геофон

Геофоны поставляются по спецзаказу. Точки профиля, где планируются возбуждение или приём колебаний упругих волн, помечаются при помощи колышков (пикетов) – пунктов возбуждения ПВ и пунктов приёма ПП.

Для приема сейсмических волн на профиле размещаются сейсмоприемники (расстановка). Для определения сейсмических границ используют либо перемещение сейсмоприемников по профилю с неизменным положением источника возбуждения (профилирование, рисунок ПБ.2) или перемещают источник возбуждения по профилю при неизменном расположением сейсмоприемников (зондирование, рисунок ПБ.3).

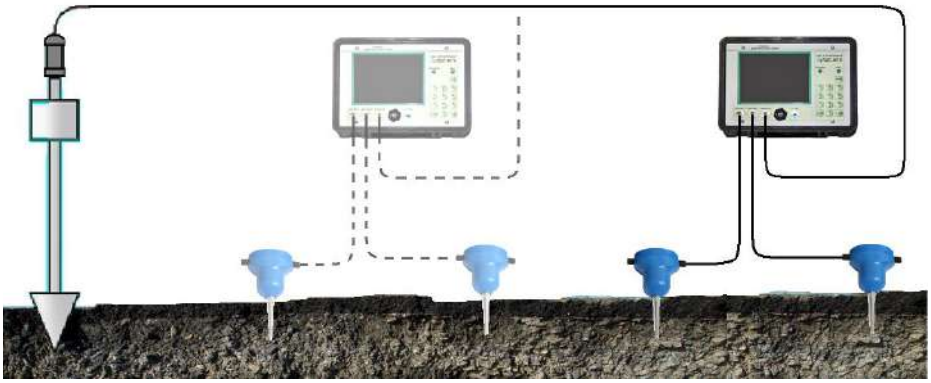


Рисунок ПБ.2 - Профилирование

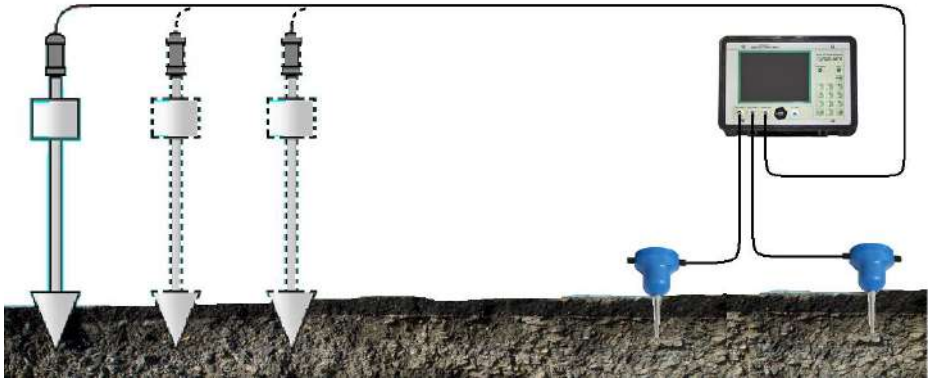
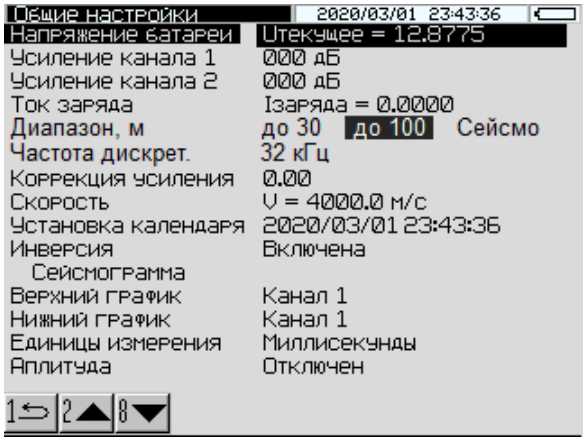


Рисунок ПБ.3 – Зондирование

2 Для перевода прибора в режим «Сейсмо» необходимо войти в режим «Настройки», выбрать пункт «Диапазон, м» и клавишей → переместить указатель курсора на значение «Сейсмо»:

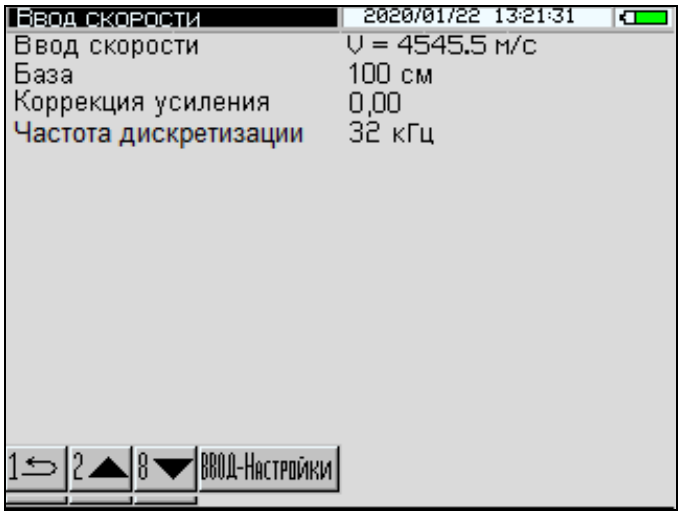


В режиме «Сейсмо» имеется возможность изменить длительность записи по времени при неизменном количестве записываемых данных (количества выборок). Длительность записи изменяется путем изменения частоты дискретизации. Частота дискретизации выбирается из таблицы (см таблицу 1).

Таблица 1

Количество выборок	Частота дискретизации, кГц	Период, мс	Время записи, мс
16384	62,5	0,016	262
16384	32,0	0,03125	512
16384	16,0	0,0625	1024
16384	8,0	0,125	2048
16384	4,0	0,25	4096
16384	0,5	2	32768

Частоту дискретизации можно так же оперативно изменить при работе в режиме «Измерение» нажатием клавиши 7 «V», дисплей прибора примет вид:



Выбрать пункт «Частота дискретизации» и клавишами → (←) установить требуемую частоту.

В дальнейшем установленные параметры измерения записывается в память прибора и при повторном включении устанавливаются автоматически.

3 Измерения проводить в следующей последовательности:

3.1 При проведении измерений методом профилирования установить колышки (пикеты) через каждые два метра по выбранному профилю. Минимальное количество пикетов - 14. Для облегчения установки геофонов пробить в грунте отверстия с помощью пробойника диаметром 8 мм и молотка на глубину не менее 75 мм. Подключить геофоны к каналам «датчик 1» (канал 1) и «датчик 2» (канал 2). Геофон, подключенный к каналу 1, устанавливается ближе к пункту возбуждения волн ПВ, геофон, подключенный к каналу 2 устанавливается на расстояние два метра далее по профилю. Штыри геофона следует полностью погрузить в грунт.

3.2 Подключить один разъем кабеля-удлинителя к каналу «молоток» ко второму разъему кабеля подключить пьезоэлектрический сейсмоприемник.

Если возбуждение акустической волны происходит с помощью темпера, то сейсмоприемник закрепить на основании рукояти сброса груза с помощью магнита (рисунок ПБ.4).

Если возбуждение акустической волны происходит с помощью кувалды, то сейсмоприемник установить вблизи места удара с помощью приспособления для установки сейсмоприемников на грунт.

Рисунок ПБ.4 – Установка сейсмоприёмника на темпер

3.3 Включить прибор. Установить минимальный порог компараторов канала 1 и канала 2.

Установить порог компаратора канала «молоток» таким образом, чтобы наблюдалось устойчивое срабатывание запуска измерения при падении груза (рисунок ПБ.5):

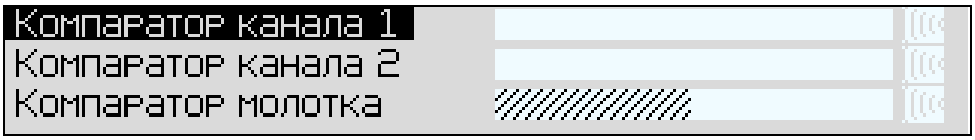


Рисунок ПБ.5 Установка порога компараторов.

3.4 Установить коэффициент усиления 0 дБ по каналу 1 и каналу 2.

Войти в режим «Измерение». Установить номер поля «01» и номер измерения (сваи) «001» и нажать **ВВОД**.

Убедиться, что геофоны установлены на грунт и нажать **ВВОД**.

Ввести расстояние между геофонами (база), 200 см и нажать **ВВОД**.

Сбросить груз или ударить кувалдой. На дисплее прибора отобразится результат измерения в виде двух графиков по каналу 1 и каналу 2. Если запуск измерения не произошел или запуск произошел самопроизвольно, то отрегулировать порог компаратора по каналу «молоток» и повторить измерение. Если измерение прошло успешно, то для записи результатов измерения нажать клавишу «9». Переставить геофоны в следующие точки профиля. Нажать клавишу «4», номер измерения увеличится на единицу. Повторить измерения для следующей точки. С увеличением расстояния геофонов от ПВ уменьшается амплитуда сигнала, поэтому при каждом последующем измерении следует увеличивать коэффициент усиления каждого канала. Максимальный коэффициент усиления 45 дБ следует устанавливать, если расстояние до ПВ превысило 18 … 20 м.

Можно при одной установке геофонов провести несколько измерений для последующего усреднения, в этом случае номер измерения не изменять.

При проведении измерений по следующему профилю необходимо увеличить номер поля на единицу, а номер измерения (сваи) установить в начальное положение (001).

3.5 Измерения методом зондирования. Установить колышки (пикеты) через каждые два метра по выбранному профилю. Установить геофоны, в процессе измерений их положение остается неизменным. По профилю перемещать источник возбуждения волн, проводить удары в точках

установки пикетов. Измерения проводить аналогично (п.п. 3.1 … 3.4).

3.6 Для измерения собственных колебаний строительных конструкций предусмотрен ручной запуск измерений. Для запуска измерений нажать клавишу «0». На дисплее прибора ручной запуск отображен в виде пиктограммы 0 .

3.7 Для обработки сейсмограмм и построения годографов необходимо скопировать файлы с результатами измерений из прибора в ПК и экспортировать их в удобный для обработки вид. Обработка и преобразование файлов производится с помощью программы, поставляемой с прибором (запуск программы файл pds.exe). Порядок копирования и преобразования файлов описан в п. 2.6 (Порядок работы в режиме «Работа с ПК»).

Программа позволяет экспортировать содержимое проекта в файл с расширением *.csv. Такие файлы поддерживаются во многих распространённых пакетах обработки табличных данных (например, Excel). Для экспорта указать имя файла: Файл\Экспорт.

Файл экспорта содержит 4 колонки значений, разделённых точкой с запятой. Первая колонка − это время (секунды), остальные − нормированные значения сигналов: датчик №1, датчик №2, молоток.

Примечание: **Измерения в режиме сейсмостанции не могут быть использованы в сфере государственного регулирования**.

Паспорт
Прибор диагностики свай ПДС-МГ4

1 Общие сведения об изделии

1.1 Прибор диагностики свай ПДС-МГ4 предназначен для измерений интервалов времени между моментом возбуждения акустической волны в свае и моментом прихода эхо-сигнала, отраженного от границы раздела сред.

1.1.2 Область применения – определение длины и целостности свай в строящихся зданиях и сооружениях (СП 45.13330.2017 "Земляные сооружения, основания и фундаменты"), а также для получения сейсмического и сейсмоспектрального профилей грунта на предприятиях стройиндустрии, научно-исследовательских и строительных лабораториях.

1.3 Условия эксплуатации:

− температура окружающего воздуха от минус 10 °С до плюс 35 °С;

− относительная влажность воздуха не более 85 %.

2 Метрологические и технические характеристики

2.1 Основные метрологические и технические характеристики представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Основные метрологические и технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений интервалов времени, мкс	от 500 до 50000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения интервалов времени, % – в диапазоне от 500 до 5000 мкс – в диапазоне св. 5000 до 50000 мкс	 ±5 ±1
Диапазон показаний длины сваи (при скорости звука 4000 м/с), м	от 1 до 100 м
Частота дискретизации, кГц	62,5
Количество измерительных каналов	2
Число отсчетов выводимых на экран, не менее	1024
Параметры электрического питания: – напряжения постоянного тока, В	 от 11,0 до 13,5
Потребляемая мощность, Вт, не более	3,6
Габаритные размеры прибора в кейсе, мм, не менее – высота – ширина – длина	 150 350 400
Масса, кг, не более	6
Средняя наработка на отказ, ч	5 000
Средний срок службы, лет	10

1.2.2 Идентификационные данные программного обозначения представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Идентификационные данные программного обозначения (ПО)

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	PDS-MG4
Номер версии (идентификационный номер) ПО	V1.01
Цифровой идентификатор ПО	2EF4

3 Комплект поставки

Наименование и условное обозначение	Кол-во, шт	Примечание
Электронный блок	1	
Сейсмоприемник		
Молоток с демпфером	1	
Приспособление для крепления сейсмоприемника на поверхности грунта		
Молоток с встроенным пьезодатчиком		
Темпер		
Геофон		
Вибродатчик боковой ВД8Б		
Зарядное устройство	1	
Кабель-удлинитель		
Кабель связи с ПК	1	
Программное обеспечение	1	
Руководство по эксплуатации Э 26.51.66.121-070-2020	1	
Методика поверки МП 4202/2-2020	1	
Укладочный кейс	1	

4 Гарантийные обязательства

4.1 Изготовитель гарантирует соответствие прибора требованиям технических условий ТУ 26.51.66.121-070-12585810-2019 при соблюдении потребителем правил эксплуатации, транспортирования и хранения, установленных в настоящем руководстве по эксплуатации.

4.2 Срок гарантии устанавливается 18 месяцев с даты выпуска прибора.

4.3 В течение гарантийного срока безвозмездно устраняются выявленные дефекты.

Гарантийные обязательства не распространяются на приборы с нарушенным клеймом изготовителя и имеющие грубые механические повреждения, а также на элементы питания.

Адреса разработчика-изготовителя ООО "СКБ Стройприбор":
Фактический: г.Челябинск ул.Калинина, 11 «Г»,
Почтовый: 454084 г. Челябинск, а/я 8538
тел./факс в Челябинске: (351) 277-8-555;
в Москве: (495) 134-3-555;
в Санкт-Петербурге: (812) 764-64-72.
e-mail: info@stroypribor.ru www.stroypribor.com

5 Свидетельство о приемке

5.1 Прибор диагностики свай ПДС-МГ4 № _____ соответствует требованиям технических условий ТУ 26.51.66.121-070-12585810-2019 и признан годным к эксплуатации.

Дата выпуска «____» _____ 20__ __г.

М.П. _____
(подпись лиц, ответственных за приемку)

ПОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА

_____
знак поверки (поверитель, подпись и Ф.И.О.)

Дата поверки «_____»_____ 20__ __ г.

6 Сведения о периодической поверке

Запись о проведенной поверке	Дата поверки, знак поверки	Подпись поверителя	Расшифровка подписи

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора по метрологии, руководитель службы по обеспечению единства измерений ФБУ «УРАЛТЕСТ»

_____ Ю.М. Суханов

«05» октября 2020 г.

Приборы диагностики свай ПДС-МГ4
МП 4202/2-2020

Методика поверки

г. Екатеринбург
2020 г

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика распространяется на Приборы диагностики свай ПДС-МГ4 (далее – приборы) и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

1.2 Интервал между поверками – 1 год

2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

2.1 При поверке выполняют операции, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	8.1	да	да
2 Опробование	8.2	да	да
3 Проверка диапазона и определение относительной погрешности измерения интервалов времени, проверка диапазона показаний длины	8.3	да	да

2.2 Если при проведении любой операции поверки получены отрицательные результаты, поверку прекращают, прибор признают непригодным к эксплуатации.

3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки используют средства измерений и вспомогательное оборудование, предоставленные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства измерений и вспомогательное оборудование

Номер пункта методики поверки	Наименование рабочих эталонов или вспомогательных средств поверки
8.3	1. Частотомер электронно-счетный Ч3-63/3 (рег. № 32499-06) - диапазон измеряемых временных интервалов от 20 нс до 7000 с; - пределы допускаемой относительной погрешности измерений периода (δT): $\delta T = \pm (\delta_0 + \delta_{зап} + \Delta t_{разр}/t_{сч})$, где $\delta_{зап}$ - погрешность запуска, $\Delta t_{разр}$ = 7 нс – разрешающая способность измерений, $t_{сч}$ – время счета. 2. Генератор сигналов специальной формы AFG-73051 (рег. № 53065-13) - диапазон частот прямоугольных импульсов от 1 мкГц до 50 МГц; 3 Виброустановка поверочная ВУП-МГ4.01 (рег. № 56783-14) - диапазон воспроизводимых частот от 5 до 10000 Гц; - пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения характеристик вибрации в диапазоне рабочих частот от 5 до 3000 Гц ± 1 %, от 3000 до 10000 Гц ± 2 %.

3.2 Допускается использование других средств измерений и вспомогательного оборудования, обеспечивающих определение метрологических характеристик с требуемой точностью.

3.3 Все средства поверки должны быть утвержденного типа, исправны и иметь действующие свидетельства о поверке.

4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

4.1 К проведению поверки приборов допускается инженерно-технический персонал со среднетехническим или высшим радиотехническим образованием, имеющим опыт работы с радиотехническими установками, ознакомленный с руководством по эксплуатации и настоящей методикой, и аттестованный в качестве поверителя.

5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены все требования техники безопасности, предусмотренные документом «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» ПОТ Р М-016-2001,

РД 153-34.0-03.150-00 (с изменениями и дополнениями), а также требования безопасности, указанные в технической документации на применяемые эталоны и вспомогательное оборудование.

6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, ºС…….20±5;
- относительная влажность воздуха, %, не более……80;
- атмосферное давление, кПа…….……..100±4;
- параметры питания от сети переменного тока:
  - напряжения питания, В……....220±22;
  - частота, Гц…….……..….50,0±0,5.

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

7.1 Поверитель должен изучить руководства по эксплуатации на поверяемое средство измерений и используемые средства поверки.

7.2 Перед проведением операций поверки необходимо:

- проверить комплектность прибора;
- проверить комплектность средств поверки, заземлить и включить питание заблаговременно перед очередной операцией поверки (в соответствии со временем установления рабочего режима, указанным в РЭ).

8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

8.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра проверить:

- сохранность пломб;
- чистоту и исправность разъемов и гнезд;
- наличие маркировки;
- отсутствие механических повреждений.

Приборы, имеющие дефекты и механические повреждения, препятствующие проведению операций поверки бракуются.

8.2 Опробование

8.2.1 Провести подготовку к работе прибора согласно РЭ.

8.2.2 Проверить отображение информации на дисплее прибора и реакцию на органы управления в соответствии с РЭ.

8.2.3 Проверить идентификационные данные программного обеспечения прибора. Включить прибор удерживая клавишу «↑», на дисплее прибора отобразится идентификационный номер версии программного обеспечения и контрольная сумма исполняемого кода, подтверждающая соответствие программного обеспечения. Идентификационные данные программного обеспечения на дисплее прибора должны совпадать с идентификационными данными, указанными в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	PDS-MG4
Номер версии ПО	не ниже V1.02
Цифровой идентификатор ПО (CRC16)	2EF4

8.2.4 Результаты проверки считают положительными, если при выполнении п.п. 8.2.1 - 8.2.3 не выявлено несоответствий.

8.3 Проверка диапазона и определение относительной погрешности измерения нтервалов времени, проверка диапазона показаний длины

8.3,1 Подключить выход генератора AFG-73051 через тройник к частотомеру Ч3-63/3 «Канал 1» и к усилителю мощности виброустановки ВУП-МГ4.

8.3.2 Установить на усилителе мощности виброустановки усиление входного сигнала в положение 0 dB.

8.3.3 Установить сейсмоприемник прибора на магнитную подложку виброустановки. Если в комплект поставки входит второй сейсмоприемник, аналогично установить его с помощью вспомогательной площадки. Снятие показаний прибора и расчет погрешностей в этом случае проводить для сигналов обоих сейсмоприемников.

8.3.4 Установить на частотомере Ч3-63/3:

- сопротивление входа 1М кнопкой «1М-50 Ом»;
- уровень срабатывания триггера кнопкой «Уровень», кнопками «↑,↓» установить уровень «Level: 0.20 V»;
- режим «PERIOD 1» кнопкой «Время Период»;
- режим непрерывного измерения, нажав кнопку «Пуск».

8.3.5 Установить на генераторе AFG-73051:

- подачу двух биполярных импульсов (положительной и отрицательной полярности);
- амплитуду импульсов 250 мВ;
- режим запуска ручной;
- длительность импульса $T_д$ и временная задержка T между импульсами программируется в зависимости от измеряемой длины и записывается в запоминающее устройство генератора AFG-73051.

Примечание - При проведении измерений временных интервалов 500 мкс биполярные импульсы могут задаваться треугольной формы для уменьшения влияния на результаты измерений затухающих колебаний виброгенератора.

8.3.6 Подготовить прибор ПДС-МГ4 к измерениям, в соответствии с п. 2.2 РЭ.

8.3.7 Войти в режим «Настройки», установить:

- «Усиление канала 1» и «Усиление канала 2» 0 дБ;
- в пункте «Диапазон, м» установить «до 30»;
- в пункте «Единицы измерения» установить «Миллисекунды»;:

- скорость 4000 м/с.

8.3.8 Установить следующие параметры для измерения длины l м;

- в генераторе AFG-73051 длительность импульса T_∂ = 100 мкс, временную задержка между импульсами T = 500 мкс;

8.3.9 Запустить измерения, дважды нажав на приборе клавишу «ВВОД».

8.3.10 Запустить сигнал с генератора AFG-73051, нажав кнопку ручного запуска «Trigger».

8.3.11 Дождаться появления сейсмограммы на дисплее прибора, на которой должны отобразиться два пика. Если прибор не зарегистрировал сигнал, то повторить измерения, увеличив коэффициент усиления на усилителе мощности виброустановки.

8.3.12 Измерить интервал времени на приборе. Нажать клавишу «5», с помощью клавиш ← и → установить первый указатель курсора на вершину первого пика. Для точной установки указателя курсора увеличить масштаб графика по горизонтали клавишей «3», уменьшение масштаба производится с помощью клавиши «9». После установки первого указателя курсора установить второй указатель курсора на вершину второго пика. Для активации второго указателя курсора повторно нажать клавишу «5», переместить указатель с помощью клавиш ← , →. Считать значение времени *X1, X2*, интервал времени $T_И = dX = X2 - X1$, значение длины сваи *L*.

8.3.13 Вычислить относительную погрешность измерения интервала времени по формуле:

$$\delta_t = \left(\frac{T_и}{T} - 1\right) \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где $T_и$ – интервал времени измеренный прибором.

8.3.14 Установить следующие параметры для измерения длины 10 м:

- в генераторе AFG-73051 длительность импульса T_∂ = 100 мкс;
- временную задержка между импульсами T = 5000 мкс;

8.3.15 Повторить п,п, 8.3.9 - 8.3.13.

8.3.16 Установить следующие параметры для измерения длины 50 м:

- войти в режим «Настройки» прибора, в пункте «Диапазон, м» установить «до 100»
- в генераторе AFG-73051 длительность импульса T_∂ = 250 мкс;
- временную задержка между импульсами T = 25000 мкс;

8.3.17 Повторить п.п. 8.3.9 - 8.3.13.

8.3.18 Установить следующие параметры для измерения длины 100 м:

- в генераторе AFG-73051 длительность импульса T_∂ = 250 мкс;
- временную задержка между импульсами T = 50000 мкс;

8.3.19 Повторить п.п. 8.3.9 - 8.3.14.

8.3.20 Результат проверки считается положительным, если относительная погрешность измерения интервалов времени находится в пределах ± 5 % в диапазоне от 500 до 5000 мкс и ± 1 % в диапазоне от 5000 (включительно) до 50000 мкс, прибор индицирует показания длины от l до 100 м.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

9.1 При положительных результатах поверки выдается свидетельство о поверке в соответствии с Приказом Минпромторга РФ от 2 июля 2015 года № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

9.2 В случае отрицательных результатов поверки выдается извещение о непригодности в соответствии с Приказом Минпромторга РФ от 2 июля 2015 года № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Инженер по метрологии отдела 4202 А. Ю. Апаликова

СКБ СТРОЙПРИБОР

Рекомендации по применению прибора ПДС-МГ4

Применение сейсмических и акустических методов контроля при изысканиях под строительство и при обследовании подземных строительных конструкций

Челябинск 2012г.

1 ГРУНТ

Сейсморазведка малых глубин имеет свои особенности. Применение взрывов с использованием ВВ или мощных невзрывных источников в данном случае малоэффективно. При изучении геологического разреза на глубину до 50 м эффективны портативные малоканальные цифровые сейсмостанции с возбуждением ударных импульсов с помощью простых ручных механических средств.

Особенностью волнового поля, возбуждаемого механическим источником вообще и, в частности, применяемых в сейсморазведке малых глубин, по сравнению со взрывными, является сужение частотного диапазона за счет исключения высокочастотных составляющих. Ударный импульс – это произведение массы бойка на его скорость. С этих позиций замена взрыва на механический удар является заменой легкого бойка (масса продуктов взрыва) с высокой скоростью на тяжелый боек с меньшей скоростью движения, в результате чего импульс лишается высокочастотных составляющих. Это приводит к увеличению относительной погрешности определения параметров сейсмического разреза. Для возбуждения упругих волн при сейсмических измерениях можно применять кувалду и конус (рисунок1 а) или темпер (молот) массой 5-10 кг (рисунок 1 б).

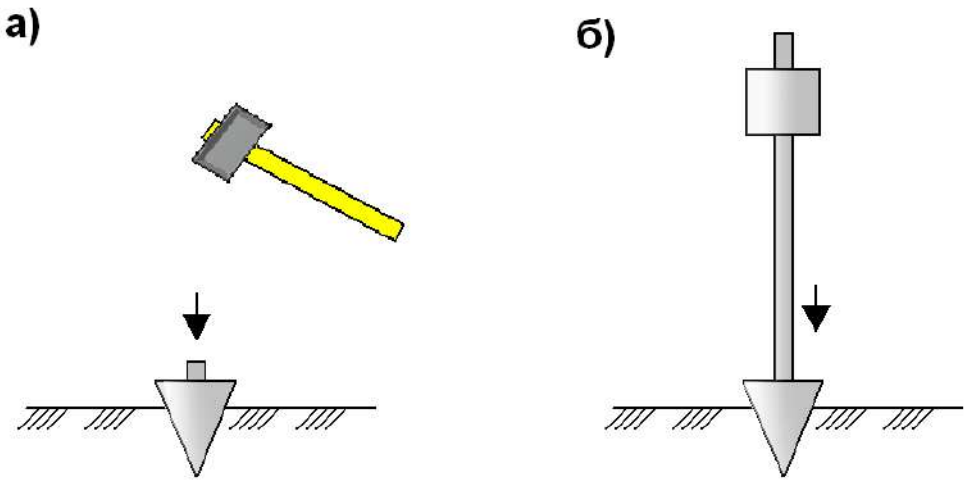


Рисунок 1 – Возбуждение сейсмических волн с помощью кувалды и конуса (а), с помощью темпера (б).

В непосредственной близости от точки приложения импульса произойдет разрушение материала среды или его уплотнение, в связи с чем, сейсмоприемник следует устанавливать не ближе одного метра от места возбуждения сейсмических колебаний.

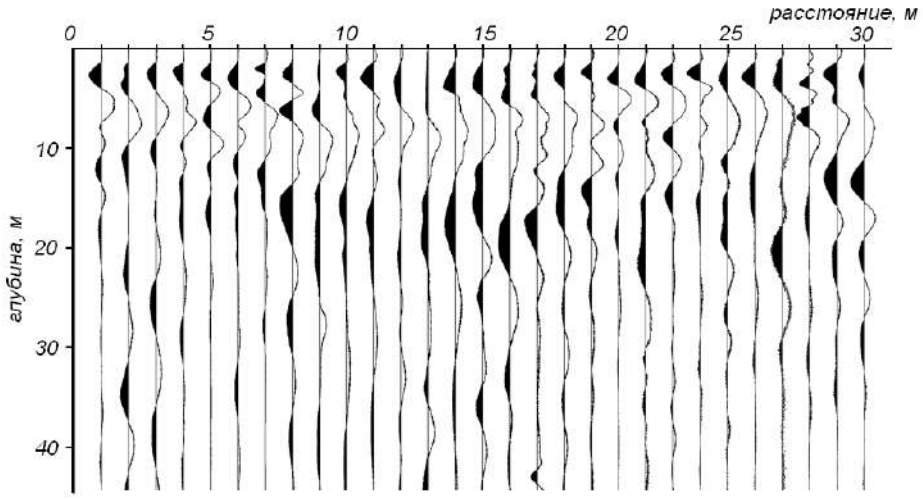


Рисунок 2 – трассы акустических колебаний (сейсмограмма)

При осуществлении обследования выделенного под строительство инженерного сооружения участка предлагается следующая схема проведения обследования: вся площадь участка покрывается сеткой измерительных профилей с расстоянием между профилями порядка 5 м и с шагом профилирования 1м. Проводятся измерения, строятся трассы акустических колебаний (рисунок 2) и их спектры (рисунок 3). На основании анализа полученных разрезов на обследуемом участке выделяются: пригодные для строительства места - участки, расположенные вне зон с пониженной несущей способностью грунта; места непригодные для строительства - зоны с пониженной несущей способностью грунта. Полученная информация является, по сути, паспортом участка.

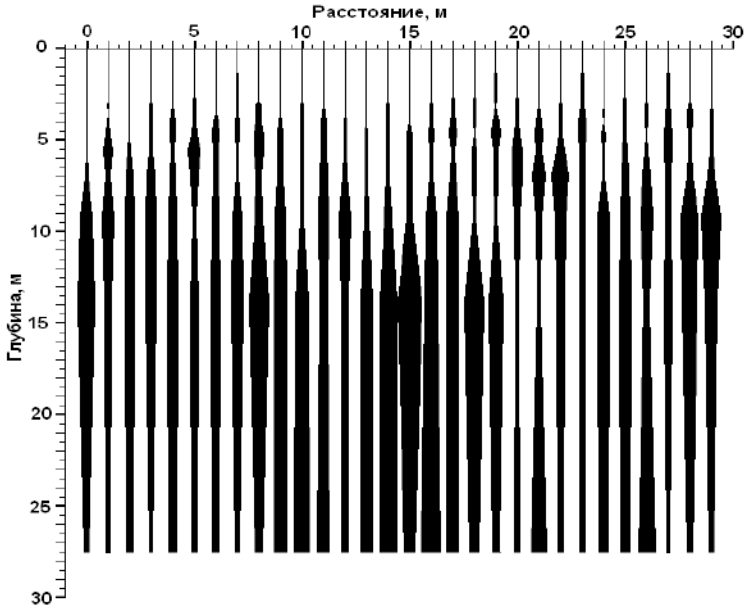


Рисунок 3 – Спектральный сейсмопрофиль грунта

2 СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ

Для исследования свайных фундаментов используются в основном поверхностные акустические технологии, так как оборудование наблюдательных скважин в железобетонных сваях является весьма трудоемкой технической процедурой. Применение поверхностных акустических методов возможно при выполнении двух условий: постоянстве скорости распространения продольных волн и размеров сечения вдоль оси сваи.

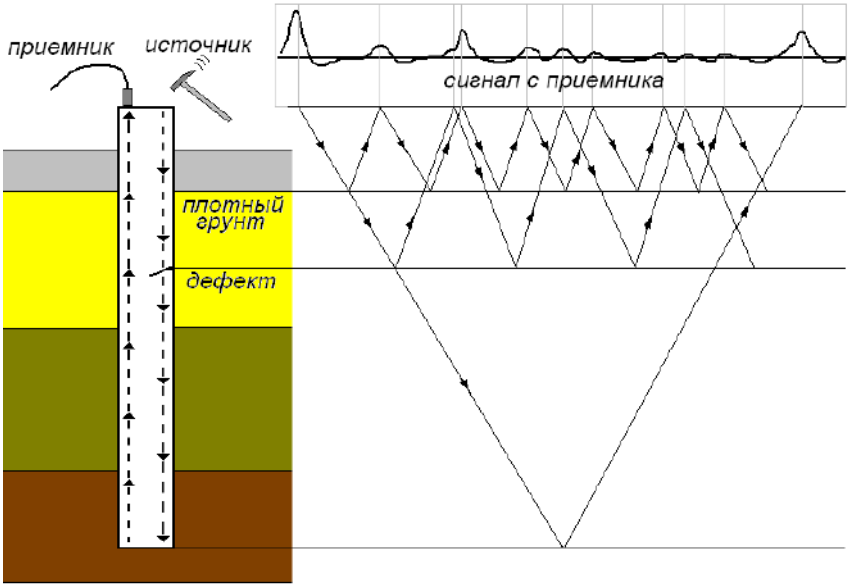


Рисунок 4 - Схема проведения диагностики состояния и определения длины сваи.

Подобным требованиям могут удовлетворять промышленные сваи, погружаемые в грунт забивным и вибрационным способом, а также некоторые буровые железобетонные сваи. Для определения скорости звука в свае можно воспользоваться ультразвуковым прибором, например УКС-МГ4 или если оголовок сваи имеет достаточную длину от поверхности грунта, то при помощи измерения времени прохождения звука между двумя датчиками при известном расстоянии.

Амплитуда отраженного донного сигнал в свае очень сильно зависит от свойств и состава грунта, а также от величины сцепления боковой поверхности сваи с грунтом. На рисунке 5 (а) приведен сигнал с сейсмоприемника при прозвучивании сваи имеющей очень низкое сцепление боковых стенок с грунтом. На графике наблюдается серия донных сигналов связанной с низким затуханием сигнала в свободной свае. На рисунке 5 (б) отображен спектр сигнала, а на рисунке 5 (в) спектр сигнала, приведенный к длине сваи. Аналогичный сигнал можно получить при прозвучивании и свободно лежащей сваи.

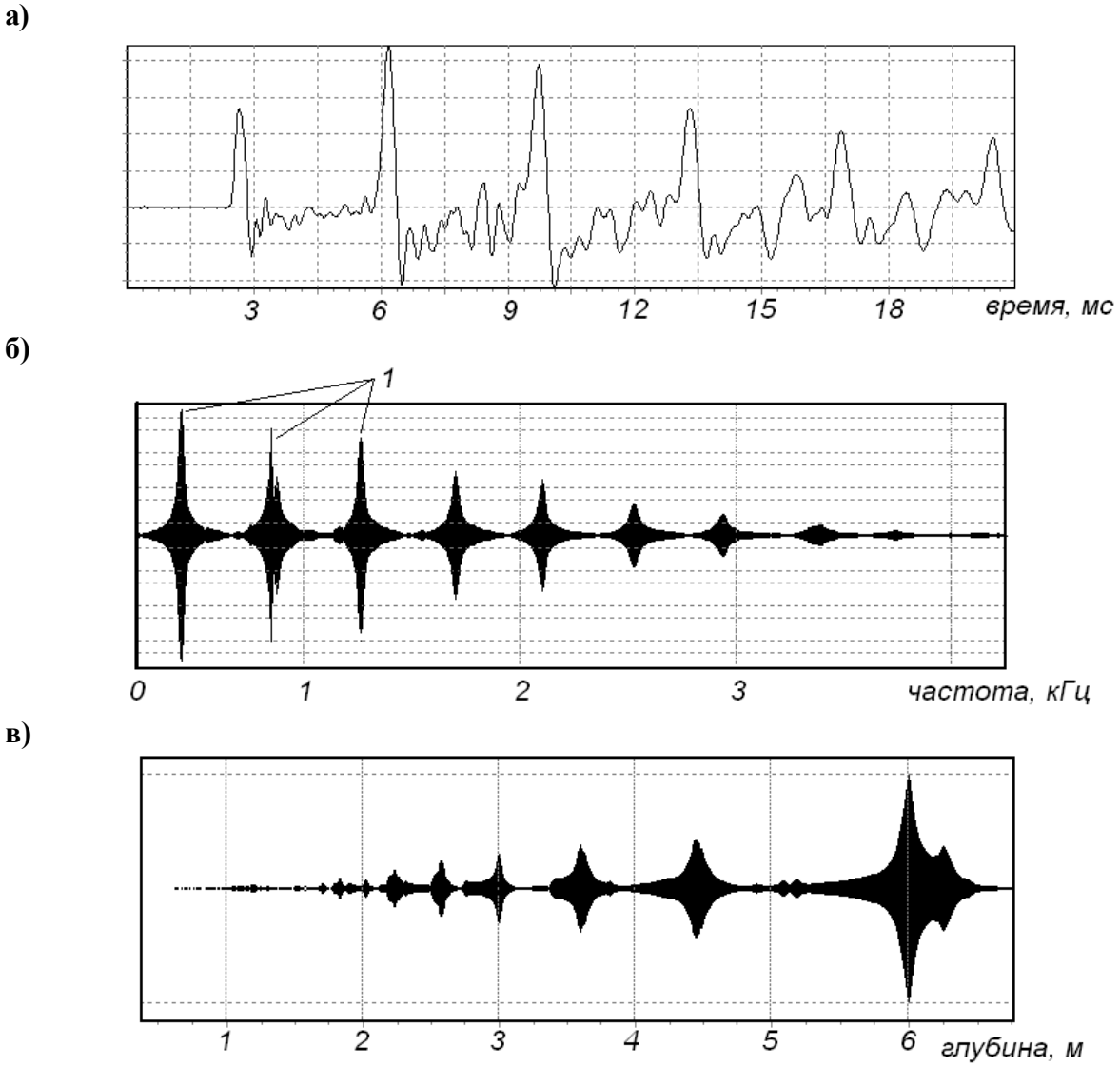


Рисунок 5 – Сигнал и спектр в шестиметровой свае при недостаточном сцеплении стенки сваи с грунтом. 1 – отражение от конца сваи.

Из теории распространения продольных волн в тонких стержнях известно, что интервал следования резонансных максимумов примерно определяется следующим выражением:

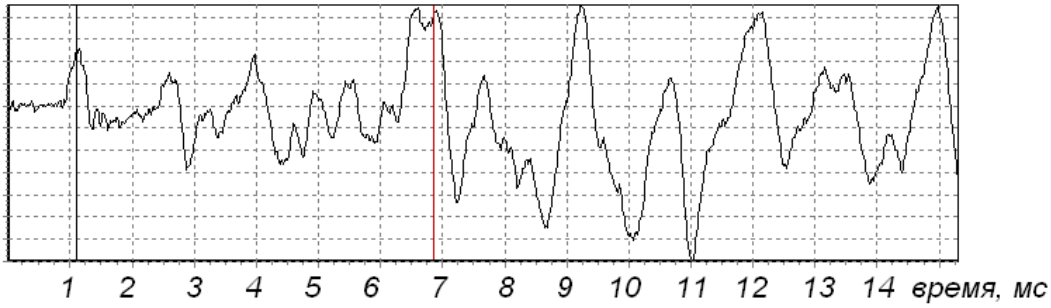
$$f(n) = (V_{стерж} \cdot n)/2l,$$

где n = 1, 2, 3 ...; l – длина сваи.

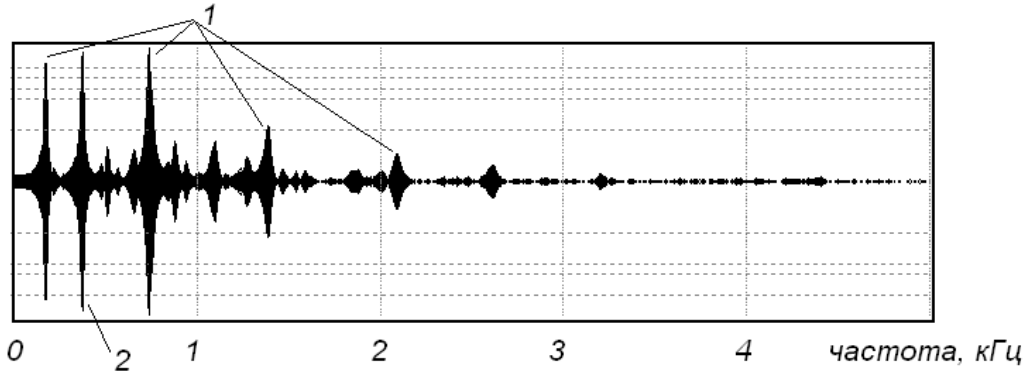
Максимумы, располагающиеся вне данной последовательности, могут быть обусловлены от-

ражениями от неоднородностей в теле сваи или вблизи ее (рисунок 6):

а)



б)



в)

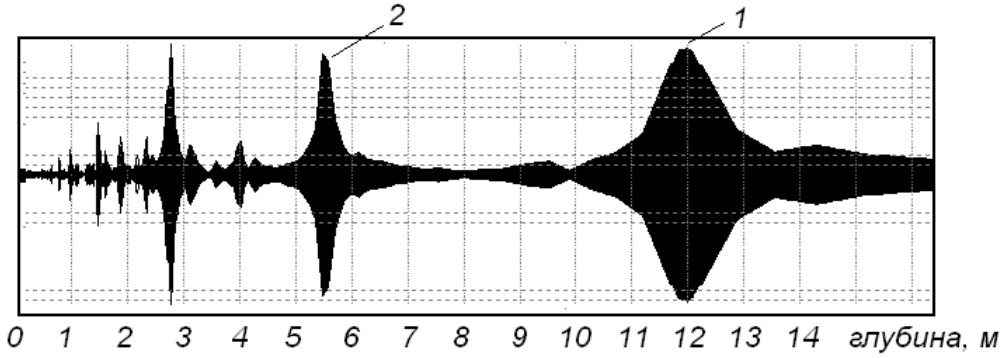


Рисунок 6 – Сигнал и спектр в двенадцатиметровой свае лежащей на поверхности и имеющей трещину на расстоянии 5,5 м. 1 – отражения от конца сваи; 2 – отражение от дефекта.

На рисунке 6 (а) изображен сигнал с сейсмоприемника при прозвучивании свободно лежащей двенадцатиметровой сваи имеющей трещину на расстоянии 5,5 метров от оголовка. На рисунке 6 (б) видно, что в спектре колебаний между основными гармониками появляются линии спектра, связанные с трещиной. На рисунке 6 (в) изображен спектр сигнала преобразованный к длине. По спектру легко определяется длина сваи и расстояние до дефекта.

При хорошем сцеплении боковой поверхности сваи с грунтом сигнал быстро затухает (рисунок 7) и выделить донный сигнал затруднено. Для облегчения выделения донного сигнала следует применить экспоненциальную коррекцию усиления.

Решение задачи исследования сваи может быть успешным, если на записи акустического сигнала выделяются сигналы отраженный от конца сваи или участка излома сваи (рисунок 4). В случае надежного определения сигнала, отраженного от конца сваи, все сигналы, наблюдаемые во временном интервале между сигналом прямого прохождения и отраженным от конца сваи (донный импульс), могут рассматриваться как сигналы, отраженные от различных дефектов в свае. Для определения донного импульса и сигналов, отраженных от дефектов, могут быть использованы следующие приемы обработки:

- анализ спектров Фурье и функций автокорреляции;
- частотная фильтрация на основе Фурье преобразований;
- временное сжатие сигнала на основе предсказывающей деконволюции.

Спектральный анализ сигнала реализован в самом приборе ПДС-МГ4. Исходя из спектрального анализа сигнала можно сделать предварительные заключения о состоянии сваи уже при проведении измерений. Более подробный анализ проводится на персональном компьютере при помощи, прилагаемой к прибору, программе.

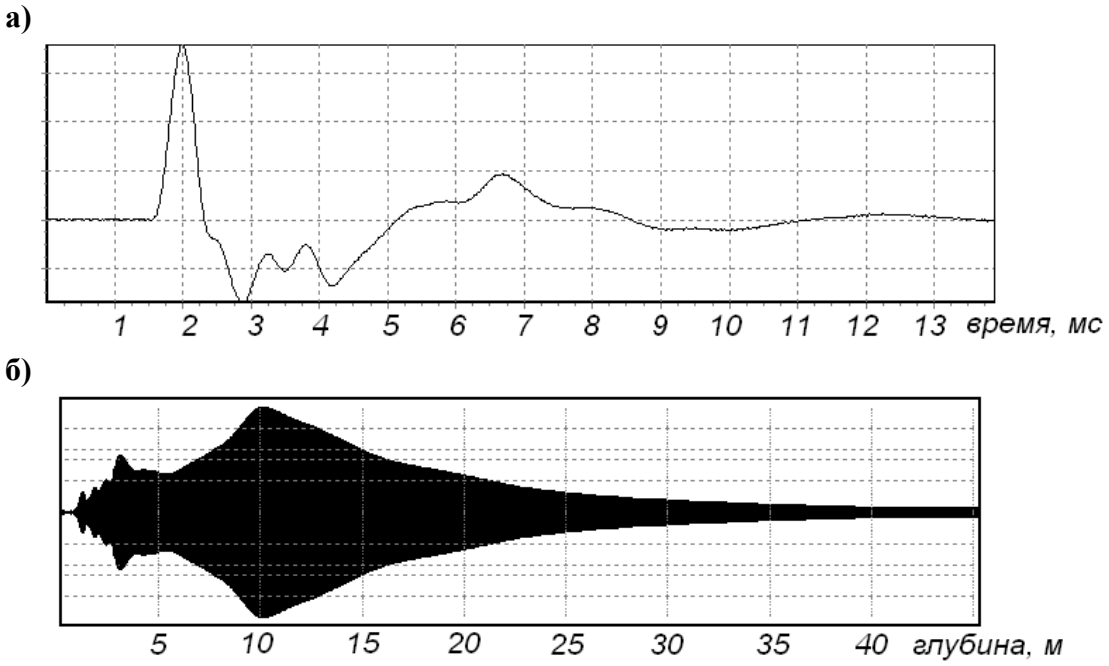


Рисунок 7 – Сигнал и спектр в десятиметровой свае при хорошем сцеплении стенки сваи с грунтом.

При однотипном грунте и наличии нескольких «эталонных» свай испытанных прямыми методами (статическими или динамическими нагрузками) можно для оценки состояния свай применять сравнительную акустическую спектроскопию.

В производственной практике зарубежных компаний много лет используется метод Sonic Integrity Testing (называется в других источниках как Low Strain Dynamic Test, Sonic Echo Test, или Low Strain Integrity Test). В основу метода положено изучение распространения продольных волн в теле сваи, возбуждаемых ударным способом на ее поверхности. Наблюдая отражения от конца сваи и дефектов в теле сваи, можно сделать заключение о ее сплошности и однородности.

Применение данной методики позволяет определять отражения от:

- конца сваи;
- значительных включений (размером 10 – 20% от радиуса сваи);
- систем горизонтальных трещин;
- каркасных соединений;
- участков резкого сужения или расширения сваи;
- контрастных слоев вмещающего грунта;
- различных по прочности слоев бетона.

Как отмечалось выше, корректное применение данной методики требует соблюдений ряда условий:

- скорость распространения продольных волн в свае считается постоянной и равной стержневой скорости $V_{стерж} = \sqrt{(E/\rho)}$, где E – модуль Юнга; ρ - плотность материала сваи;
- свая изначально считается имеющей постоянное сечение;
- требуется представление о свойствах грунтов, в которые погружена свая;

- в свае изучаются распространение низкочастотных мод продольных колебаний, имеющих низкую геометрическую дисперсию фазовой скорости.

В отечественной практике подобные методы также используются (метод ИНАД ЦНИИС, акустические методы контроля сплошности свай – Элгад-ТОП).

В тех случаях, когда сваи опираются на скальное основание, имеется возможность качественно оценить несущую способность свай, для чего используется методика акустического прозвучивания между сваями. Прочностные характеристики материала сваи могут быть оценены по методике для одиночной сваи, прочностные характеристики основания (скального грунта) могут быть получены по результатам прозвучивания между сваями (рисунок 8).

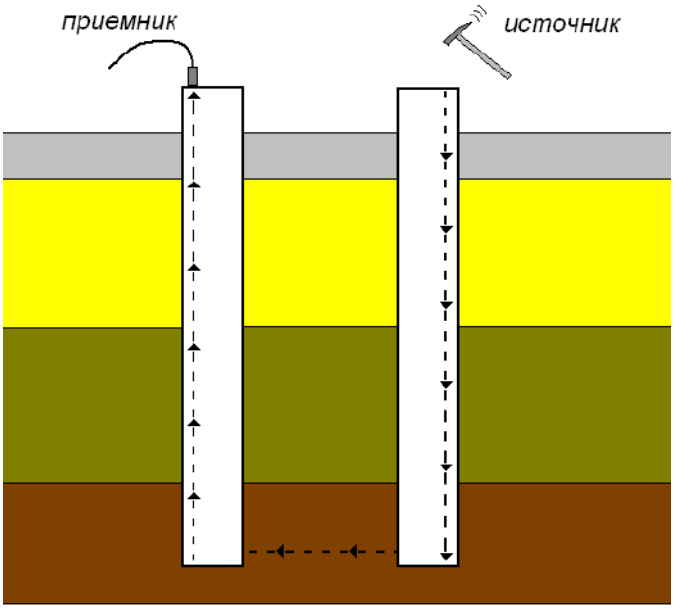


Рисунок 8 – Прозвучивание грунта между сваями.

В случае, когда прочность материала сваи и скального основания соответствует расчетным, несущая способность оценивается по одному из двух показателей.

3 ФУНДАМЕНТНЫЕ ПЛИТЫ

При обследовании фундаментных плит акустическими методами могут решаться следующие задачи: контроль толщины бетона, определение состояния контакта фундаментной плиты с грунтовым основанием. Для надежной работы фундаментной плиты в составе сооружения необходимо, чтобы по всей площади плиты существовал хороший контакт плиты с желательно однородным грунтовым основанием.

При наличии пустот или разуплотнений под подошвой плиты могут возникнуть дополнительные напряжения и деформации. Для оценки состояния контакта плиты и основания проводятся возбуждение плиты ударом и регистрация акустических колебаний на частоте, близкой к частоте толщинного резонанса:

$$F = V/2d,$$

где V – скорость продольных волн в плите; d – толщина плиты.

Для определения зон нарушенного контакта плиты с грунтовым основанием может использоваться акустическое профилирование на постоянной базе. Для обработки данных профилирования удобно использовать спектральный анализ.

В качестве измеряемого параметра следует использовать максимум спектральной амплитуды.

При ухудшении контактных условий происходит подъем амплитуды частотного спектра сигнала в полосе толщинного резонанса (рисунок 9). Пользуясь этим обстоятельством, можно проводить наблюдения на фундаментных плитах, определяя возрастание спектральной амплитуды в полосе, близкой к значению толщинного резонанса (рисунок 9), которое будет соответствовать участкам нарушения контактных условий.

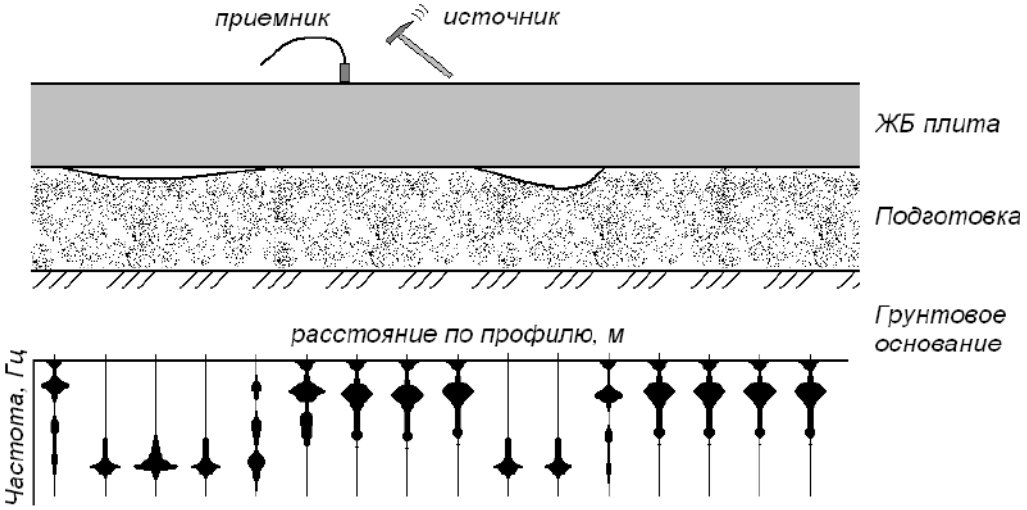


Рисунок 9 – Обнаружение участков нарушения контакта плиты с грунтовым основанием.

4 ЛЕНТОЧНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ

Обследование ленточных фундаментов проводятся в основном в период эксплуатации зданий и сооружений, так как во время строительства контроль качества строительства достаточно хорошо отработан.

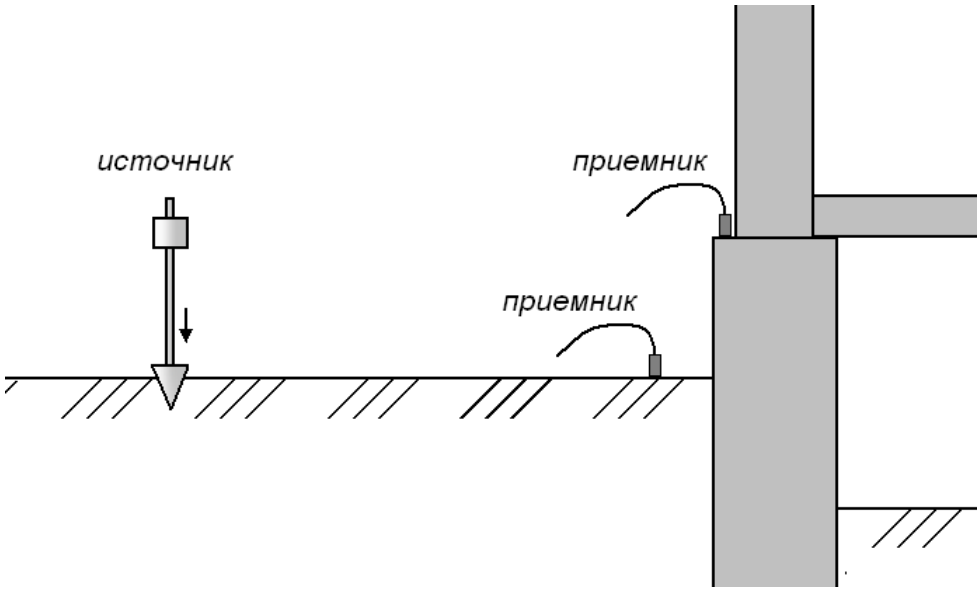


Рисунок 10 – Схема проверки условия контакта ленточного фундамента с грунтом.

Для оценки условий контакта фундамента с грунтом могут применяться измерения поверхности волны на поверхности грунта и фундамента при ударном возбуждении колебаний на некотором расстоянии от фундамента. Во время измерений определяются интервальное время пробега до каждого сейсмоприемника, спектральный коэффициент передачи сейсмической энергии от грунта к фундаменту и другие динамические особенности сигнала (рисунок 10).

Определение коэффициента передачи энергии упругих волн между грунтом и фундаментом

сооружения традиционно используется при оценке сейсмического (землетрясения) и техногенного динамического воздействия на сооружение. Коэффициент передачи равен отношению максимальной амплитуды сигнала, измеренного на фундаменте, к максимальной амплитуде сигнала, измеренного на поверхности грунта.

Используется также спектральный коэффициент передачи, который более детально позволяет изучать условия контакта между грунтом и сооружением. Спектральный коэффициент передачи определяется отношением спектра сигнала на фундаменте к спектру сигнала на грунте.

5 НАСЫПИ

Обычно контроль над уплотнением насыпных и намывных грунтов осуществляют методами зондирования, отбором проб грунта, по которым определяется условное сопротивление статическому и динамическому зондированию, объемный вес сухого грунта, коэффициент уплотнения. При этом испытания проводят в отдельных точках, распространяя их характеристики по всей площади уплотнения. Здесь присутствует определенный недостаток, что между точками (10-20 м и более), грунт не исследован. Сейсмический метод позволит получить непрерывные характеристики по всей площади, а применение в комплексе с зондированием получить наиболее достоверные данные по уплотнению. Особенно это актуально для насыпных грунтовых оснований. Физической основой сейсмических методов является зависимость скоростей упругих волн и их затухания от плотности грунта.

Сейсмические методы основаны на изучении распространения в земляном сооружении упругих волн, возбуждаемых искусственным путем с помощью одиночных ударных импульсов. По данным измерений определяют скорости распространения сейсмических-продольных *VPc* и поперечных *VSc* волн и их затухания, которые позволяют оценить степень уплотнения земляного сооружения. При контроле качества уплотнения земляного сооружения сейсмическими методами следует принять схемы измерений, показанные на рисунке 11:

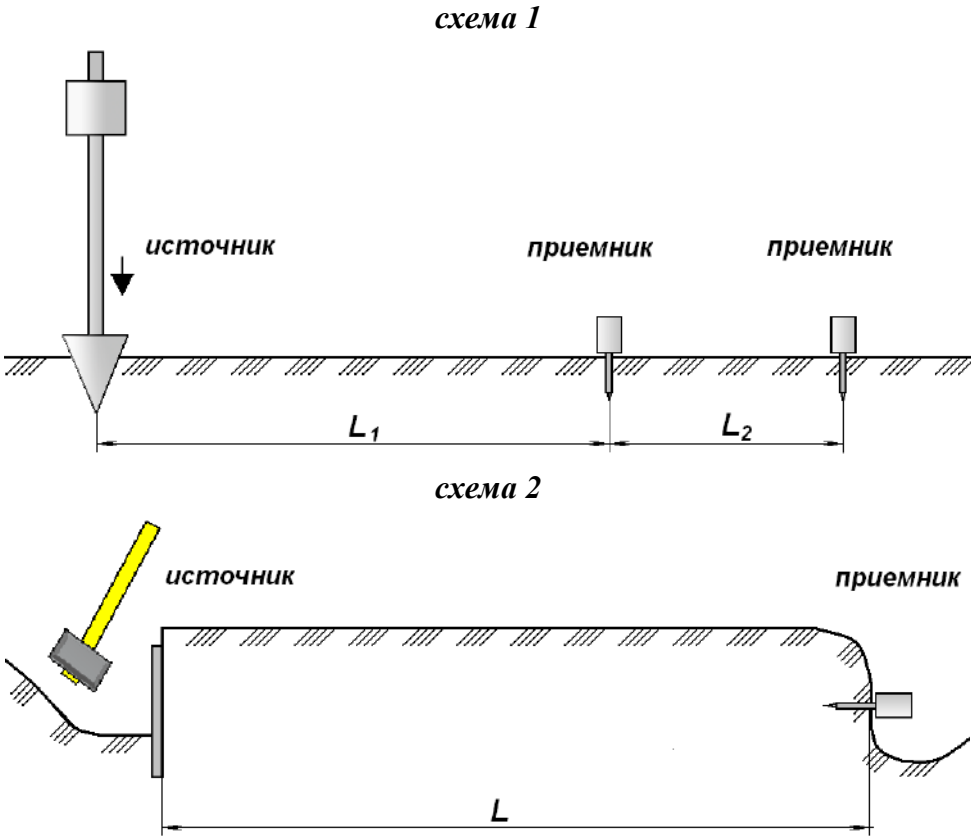


Схема 1 – измерение поперечных волн; Схема2 – измерение продольных волн.
Рисунок 11 – Схема проведения измерений.

Возбуждение упругих волн при сейсмических измерениях на поверхности земляного сооружения следует осуществлять тампером (молотом) массой 5-10 кг с инерционными контактами или конусным устройством. Возбуждение продольных волн производят горизонтальным ударом тампера по стенке углубления.

Сейсмические измерения при определении плотности методом просвечивания выполняют следующим образом. Сейсмоприемник устанавливают на поверхность по схеме 1 или на заданную глубину по схеме 2 (см. рисунок 11). На расстоянии (L) производят удар одним из устройств. В момент удара включается регистрация сигналов. При помощи прибора фиксируется время прихода волны по первому вступлению для первого и второго сейсмоприемника. Определяется скорости продольных и поперечных волн. Физические параметры грунта рассчитываются по формулам (таблица 1).

Таблица 1

Наименование величины	Индекс	Выражение через скорости упругих волн, V_p, V_s	Выражение через модуль упругости E и коэф. Пуассона, μ	Выражение через константы Ляме, G и λ
Скорость объемных продольных волн	V_p, м/с	V_p	$\sqrt{\frac{E}{\rho}\cdot\frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$	$\sqrt{\frac{\lambda+2G}{\rho}}$
Скорость объемных поперечных волн	V_s, м/с	V_s	$\sqrt{\frac{E}{\rho}\cdot\frac{1}{2(1+\mu)}}$	$\sqrt{\frac{G}{\rho}}$
Модуль упругости Юнга	E, кН/м^2	$\rho\frac{V_s^2(3V_p^2-4V_s^2)}{2(V_p^2-V_s^2)}$	E	$\frac{G(3\lambda-2G)}{(1+G)}$
Коэффициент Пуассона	μ	$\rho\frac{(V_p^2-2V_s^2)}{2(V_p^2-V_s^2)}$	μ	$\frac{\lambda}{2(\lambda+G)}$
Модуль сдвига (вторая константа Ляме)	G, кН/м^2	ρV_s^2	$\frac{E}{2(1+\mu)}$	G
Первая константа Ляме	λ	$\rho(V_p^2-2V_s^2)$	$\frac{E}{3(1-2\mu)}$	λ
Модуль всестороннего сжатия	K	$\rho\left(V_p^2-\frac{h}{3}V_s^2\right)$	$\frac{E}{3(1-2\mu)}$	$\lambda+\frac{2}{3}G$
Отношение скоростей упругих волн	$V_v=\frac{V_s}{V_p}$	$\frac{V_p}{V_s}$	$\sqrt{\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)}}$	$\sqrt{\frac{\lambda+2G}{G}}$
Плотность грунта	ρ, г/см^2, т/м^3	$\rho=\frac{\gamma}{g}$, γ- удельный вес, кН/м^2; g – ускорение, м/с^2.		

Для песчаных насыпей для определения плотности можно воспользоваться эмпирическими зависимостями (таблица 2).

Таблица 2

Метод измерений	Вид грунтов	Корреляционное уравнение	Область применения		
			W, %	K_y	ρ_d, г/см^3
сейсмический	Песок мелкий, средней крупности, крупный, гравелистый	ρ_d=0,00077 V_{Pc}+1,50	2-10	0,90-1,00	1,55-1,85
		ρ_d=0,002 V_{Sc}+1,44	2-10	0,90-1,00	1,55-1,85

ЛИТЕРАТУРА:

1 В. В. Капустин «Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций»

2 В. Е. Сеськов, А. А. Окладникова «Определение физико-механических характеристик намывных и насыпных грунтов сейсмическими методами».

3 ОАО ЦНИИС «Технологический регламент по применению неразрушающего экспресс контроля сплошности свай методом "СОНИК"» Москва 2002 г.