

**УДК 620.179.1**

## **ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В БЕТОННЫХ СВАЯХ**

**Трифонов А. С., Туманов В. В., Архипенко А. И.,  
Киселев Н. Н., Шалованов О. Л.**  
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Розглянуто спектральні особливості акустичних сигналів у буронабивних палях стосовно до підвищення вірогідності ідентифікації інформативних відбитих хвиль.*

*Spectral singularities of acoustic wavelets in bored piles in respect to improving certainty of identification of informative reflected signals are considered.*

Акустическая диагностика бетонных свай при зондировании их упругим импульсом основана на идентификации отраженных волн и оценке возможного наличия технологических дефектов по временным показателям отражений [1-3]. Проблемным моментом этой технологии является структурная сложность формирующегося в свае волнового поля с суперпозицией множества различных волн (прямых продольных, поверхностных рэлеевских, отраженных канальных, многократных и пр.), затрудняющих достоверную идентификацию на их фоне полезных отраженных сигналов. Показательной иллюстрацией в этом отношении представляется приведенный на рисунке 1 фрагмент вполне типичной волновой структуры акустического сигнала, наблюдаемого при исследованиях в 2011 г. буронабивных свай на территории нового терминала аэропорта г. Донецк. В этих исследованиях сваи зондировались с верхнего торца упругим импульсом с приемом сигнала широкополосным пьезоэлектрическим преобразователем

и регистрацией цифровой аппаратурой REZ-2Т с шагом дискретизации 16 кГц.

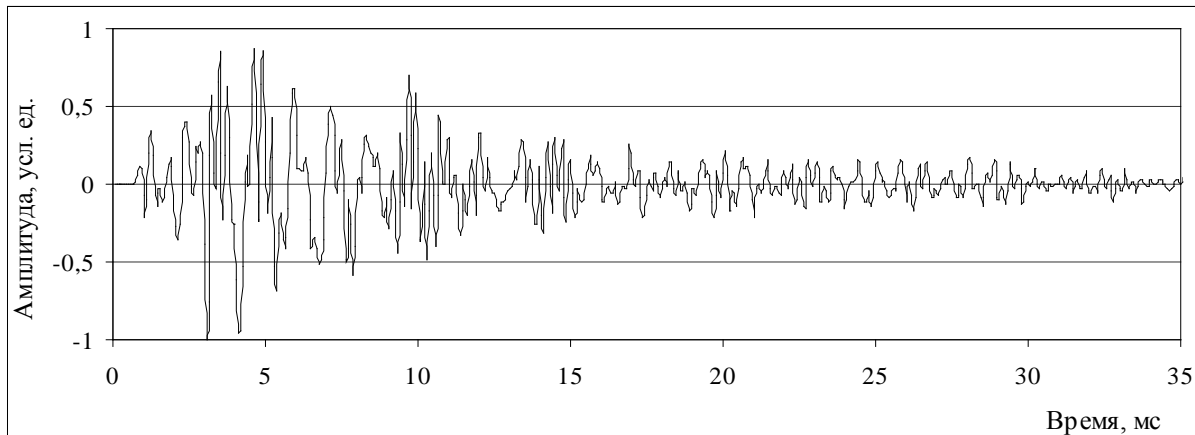


Рис. 1. Пример типичной волновой структуры акустического сигнала при зондировании буронабивной сваи упругим импульсом

Достаточно очевидной особенностью бетонных свай является их волноводная способность, обусловленная значительным различием упругих констант сваи и вмещающих ее грунтов. Вследствие этого коэффициент отражения упругой волны в свае на границе бетон-грунт (порода) близок к единице и, тем самым, упругая волна в свае может распространяться в результате многократных отражений от ее стенок. При одновременном отражении сигнала от противоположных стенок сваи и конструктивной интерференции отражений формируется каналовая волна, способная эффективно отражаться от торцевых частей сваи и/или возможных в ней технологических дефектов.

Основными показателями этих каналовых волн является их высокочастотность при соизмеримости длины волны (в фазе Эйри) с поперечными размерами сваи, и меньшее затухание с расстоянием (вследствие интерференционного характера этих волн) в сравнении с другими типами волн.

Помимо каналовых (интерференционных) волн в сваях происходит также формирование многократных волн, которые возникают при несимметричном расположении источника на торце сваи. В этом случае колебания распространяются по свае

вследствие последовательных многократных отражений от ее стенок под разными углами без конструктивной интерференции и формируют протяженный по длительности акустический сигнал.

Также наиболее значимыми по энергетическим параметрам в сваях являются прямые продольные, поверхностные (рэлеевские) волны и резонансные колебания выступающих из оголовка сваи технологических окончаний арматуры. Смесь этих волн и является главной помехой для выделения на их мощном фоне отраженных каналовых. Вместе с тем значительное различие по частоте между волнами-помехами и каналовыми волнами позволяет достаточно уверенно определять наличие последних в сигнале по спектральным особенностям его определенных временных диапазонов.

На рисунке 2 показаны спектры последовательных пяти временных диапазонов по 10 мс акустического сигнала приведенного на рисунке 1.

В спектре временного диапазона 0-10 мс (см. рис. 2, а) присутствует выраженный положительный экстремум на частоте порядка  $\sim 840$  Гц, отсутствие которого в спектре временного диапазона 20-30 мс (см. рис. 2, в) является свидетельством принадлежности этой части спектра прямому сигналу. Судя по относительно большой его длительности, значительной энергии и относительно низкой частоте это характерное проявление поверхностных волн.

Также во временном диапазоне 0-10 мс заметно выделяется положительный экстремум в области частоты  $\sim 3560$  Гц (см. рис. 2, а), который, судя по его отсутствию в спектре временного диапазона 10-20 мс (см. рис. 2, б), характеризует прямые продольные волны (высокочастотные и небольшой длительности).

Область повышенных значений в спектрах временных диапазонов 20-30 мс, 30-40 мс и 40-50 мс с максимумом на частоте  $\sim 1380$  Гц (см. рис 2, в, г, д) вполне очевидно является резонансным проявлением протяженных во времени собственных колебаний выступающих из оголовка сваи технологических окончаний арматурных прутьев.

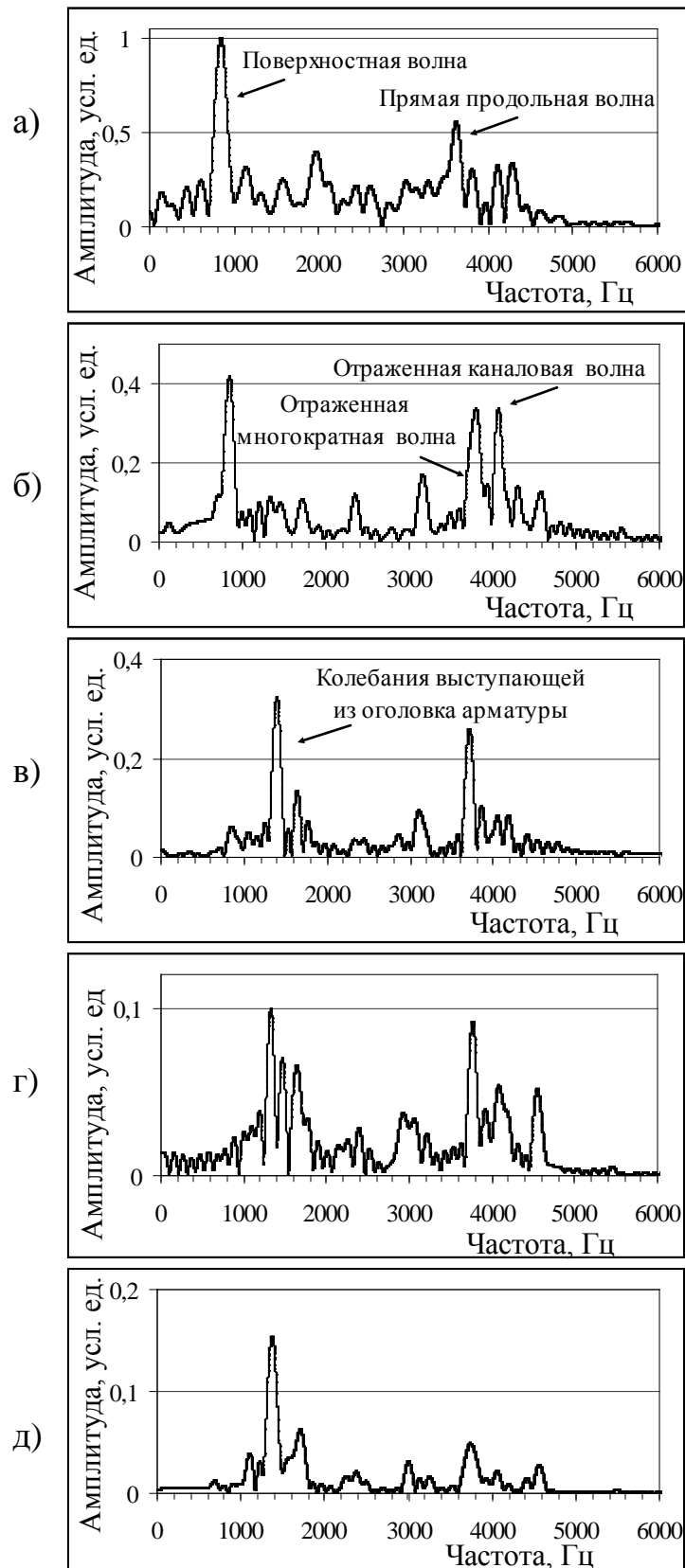


Рис. 2. Спектры волновых структур временных диапазонов (10-20 мс, 20-30 мс, 30-40 мс и 40-50 мс, соответственно – а, б, в, г, д) акустического сигнала в свае

Спектр в діапазоні 10-20 мс, поперем спектрального екстремума поверхневих волн, характерен також двома вираженими екстремумами на частотах  $\sim 3700$  Гц і  $\sim 3990$  Гц (см. рис. 2, б). Столь же контрастне проявлення першого з цих екстремумів в спектрах частотних діапазонів 20-30 мс 30-40 мс (см. рис. 2, в, г) характеризує достатньо довгий (порядка 30 мс) сигнал багаторазових волн, відражених від заглибленого торця свай. Вповне можливо, що область спектра 3780-4600 часового діапазона 30-40 мс (см. рис. 2, г) також належить відраженим багаторазовим волнам, оскільки енергія цього частотного діапазона разом з енергією екстремума на 3700 Гц різко знижується в спектрі діапазона 40-50 мс (см. рис. 2, д).

Екстремум спектра на частоті  $\sim 3990$  Гц проявляється тільки для діапазона сигналу 10-20 мс (см. рис. 2, б), в якому при швидкості каналових волн в свай порядку 3800-4000 м/с можливо присутність їх відражень від заглибленого торця свай. Це обставителство і приблизне відповідність довжини волни на вказаній частоті діаметру свай вказують на відповідність розглянутого екстремума відраженим від торця каналовим волнам.

Наличие цих відражень свідчить про безперешкодливе проходження каналових волн двічі по телу свай і, відповідно, об відсутності в ній дефектів.

Розглянутий принцип дослідження спектральних особливостей структурно складних акустических сигналів в бетонних сваях забезпечує достатньо об'єктивну ідентифікацію в них корисних відражень і достовірну оцінку наявності конструктивних дефектів.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Методика вивчення особливостей розповсюдження акустических волн в бетонних сваях з використанням методів численного моделювання / Капустин В. В. // Вестник Московского университета, Сер. 4, Геология, 2008/3, С. 65 – 70.
2. Контроль довжини бетонних свай в ґрунті методом акустического зондування / В. Н. Белобородов, Т. Г. Глотова,

- А. Л. Исаков, А. К Ткачук // ФТПРПИ. 2002. - № 5. – С. 116 – 120.
3. Определение несущей способности буронабивных свай экспресс методами / Алексеев С. И. // Развитие городов и геотехническое строительство. СПб., 2007. № 11. С. 198 – 203.