

АКУСТИКА НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

Исследование частотных зависимостей фазовой скорости продольных акустических волн в пористых углепластиках с использованием широкополосной акустической спектроскопии с лазерным источником ультразвука	
<i>Ю.Г. Соколовская, Н.Б. Подымова, А.А. Карабуттов</i>	2
Оценка потока пузырьковых газовыделений в бухте Ласпи по акустическим сигналам от источника	
<i>Ю.А. Якимычев, И.Н. Иванова, А.А. Будников, Т.В. Малахова</i>	6
Новый акустический метод обнаружения беспилотных летательных аппаратов с винтом	
<i>А.И. Корольков, Е.В. Медведева, А.С. Шуруп</i>	9
Повышение эффективности метода микросейсмического зондирования за счёт сокращения времени накопления	
<i>А.С. Нумалов, Р.А. Жостков, Д.А. Преснов</i>	13
Применение голографической интерферометрии для передачи информации через возмущенную океаническую среду	
<i>М. Badiey, В.М. Кузькин, С.А. Переселков, Е.С. Казначеева</i>	17
Теоретическое моделирование и экспериментальное исследование теневой картины акустического поля, создаваемого ультразвуковым излучателем в жидкости	
<i>А.И. Цеханович, С.А. Петросян, С.А. Цысарь, О.А. Сапожников</i>	21
Топологические законы и новая картина рассеяния волны Рэлея на сверхрешётке	
<i>В.Н. Чуков</i>	24
Топологическое объединение акустических спектроскопий Брюкке-Фарадея-Тиндаля-Рэлея, Лява-Ми, Лауэ-Брэгга-Вульфа	
<i>В.Н. Чуков</i>	28
Исследование динамических атрибутов акустического отклика системы свая-грунт с использованием численного моделирования	
<i>А.А. Чуркин, В.В. Капустин, И.Н. Лозовский, Р.А. Жостков</i>	30

Исследование динамических атрибутов акустического отклика системы свая-грунт с использованием численного моделирования

А.А. Чуркин¹, В.В. Капустин², И.Н. Лозовский³, Р.А. Жостков⁴

¹ООО «ЭГЕОС», г. Москва, Россия

²Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

³Центр геоэлектромагнитных исследований – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

⁴Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

chaa92@mail.ru

Поверхностный сейсмоакустический метод — широко применяющийся неразрушающий метод контроля качества железобетонных свай. Методика испытаний основана на возбуждении ударного импульса и регистрации отраженного сигнала на поверхности исследуемой конструкции и предназначена для контроля качества отдельно стоящих свайных фундаментов [1]. Контролируемыми параметрами является глубина заложения (длина) и сплошность (однородность) материала сваи.

Анализ материалов сейсмоакустического метода может проводиться как во временной, так и в частотной области. Динамические атрибуты, характеризующие регистрируемый отклик, могут быть использованы для оценки контактных условий системы свая-грунт [2].

Получение качественной характеристики контактных условий для набора свай в пределах одного фундамента позволяет инженеру целенаправленно выбирать аномальные по поведению отклика сваи для проведения прямых контрольных испытаний (статическими или динамическими нагрузками). В общем случае для свай, удовлетворяющих ряду требований (совпадение геометрических параметров и свойств материала, отсутствие дефектов, заглубление в одинаковые вмещающие грунты), выполняется условие: чем хуже контакт — тем выше энергия отклика.

Влияние параметров системы свая-грунт на поведение динамических атрибутов исследовано для серии трехмерных численных моделей. Серии численных моделей [3-6] разделены на 4 группы (рис. 1).

В качестве объектов моделирования выбраны бетонные цилиндрические сваи с ненарушенной сплошностью или с включением грунтового материала (дефектом), изготовленные в различных грунтовых условиях. Диаметр свай — 0.4 м, длина — 6.0 м.

Физические свойства моделируемых материалов приведены в Табл. 1-3. В связи с малой амплитудой деформаций элементов модели бетон и грунт приняты линейно-упругими [7].

Табл. 1. Свойства материала сваи

Материал	Бетон
Плотность, ρ , кг/м ³	2300
Скорость продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, м/с	4000; 2442

В сериях моделей 1.1 и 1.2 свая изготовлена в однородном вмещающем грунте, акустическая жесткость которого значительно ниже акустической жесткости бетона сваи. Расчеты выполнены для 10 вариантов акустических свойств вмещающего грунта, с постепенным снижением контраста акустической жесткости бетона и грунта (грунт 1.1-1.10, табл. 2).

В качестве дефекта в серии 1.2 задано сужение ствола сваи до половины площади ее поперечного сечения (радиус сваи в области дефекта — 141 мм) в пределах отметок 2-3 м (относительно верха сваи).

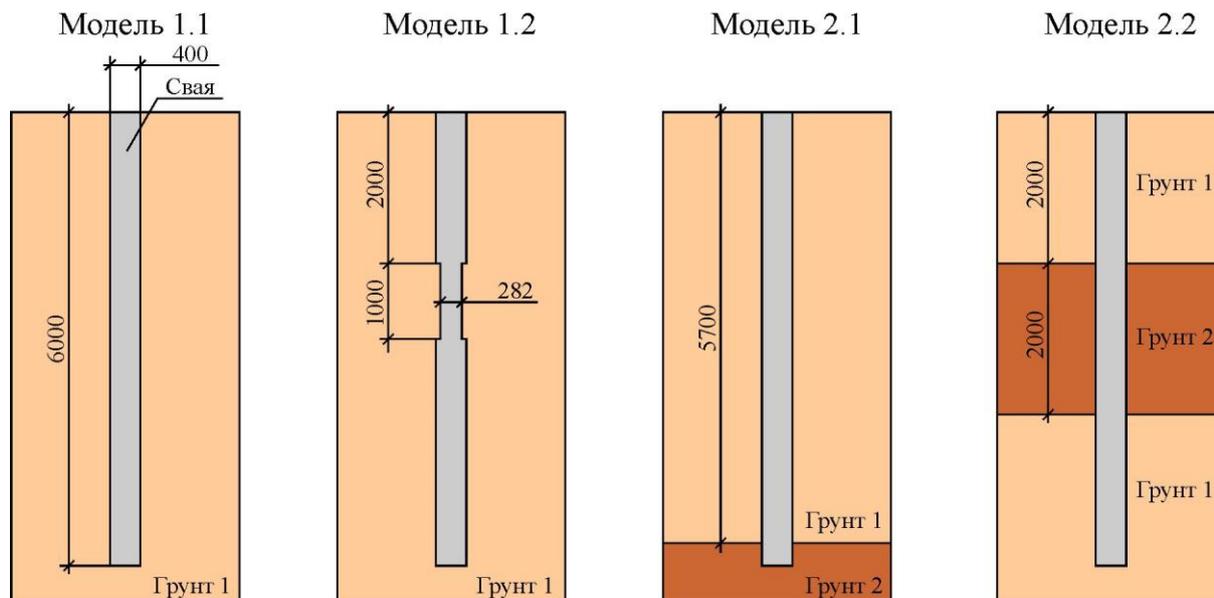


Рис. 1. Схемы базовых моделей

Табл. 2. Изменение свойств Грунта 1

Грунт	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
ρ , кг/м ³	1500	1500	1550	1550	1600	1600	1650	1650	1700	1700
V_P ; V_s , м/с	600; 120	720; 144	840; 168	960; 192	1080; 216	1200; 240	1320; 264	1440; 288	1560; 312	1680; 336

Табл. 3. Изменение свойств Грунта 2

Грунт	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
ρ , кг/м ³	2200	2200	2250	2250	2300	2300	2350	2350	2400	2400
V_P ; V_s , м/с	2700; 810	2835; 850	2970; 890	3105; 930	3240; 970	3375; 1010	3510; 1050	3645; 1090	3780; 1130	3915; 1170

Серия моделей 2.1 представляет сваю во вмещающем грунте 1.1, нижний торец которой опирается на залегающий ниже грунт 2 (обладающий более высоким акустическим импедансом, чем грунт 1.1). Свая погружена в грунт 2 на 0.3 м. Характеристики грунта 2 постепенно меняются (грунт 2.1-2.10, Табл. 3), его акустическая жесткость возрастает.

В серии моделей 2.2 свая прорезает три геологических слоя: грунт 1.1, грунт 2 и грунт 1.1. Отметка кровли второго слоя (грунт 2) — 2 м, его мощность — 2 м. Физические свойства грунта 2 изменяются в моделях серии согласно табл. 3. Так мы оказываемся в ситуации геологического разреза, в котором чередуются слои грунта различной контрастности (пример соответствующей геологической обстановки – моренные отложения, мерзлота).

Для полученных наборов сигналов построены графики изменения атрибутов нормированной площади спектра (S_n), нормированной энергии сигнала (E_n), средневзвешенной частоты (f_s) и отношения площади спектра к средневзвешенной частоте (S_n/f_s). Отдельно выведена атрибутивная диаграмма «нормированная площадь – средневзвешенная частота» (рис. 2). Подобные атрибуты используются в сейсмологии для характеристики физико-механических свойств грунтов и применяются для анализа результатов инженерно-геофизических изысканий (сейсмоакустических и радиолокационных).

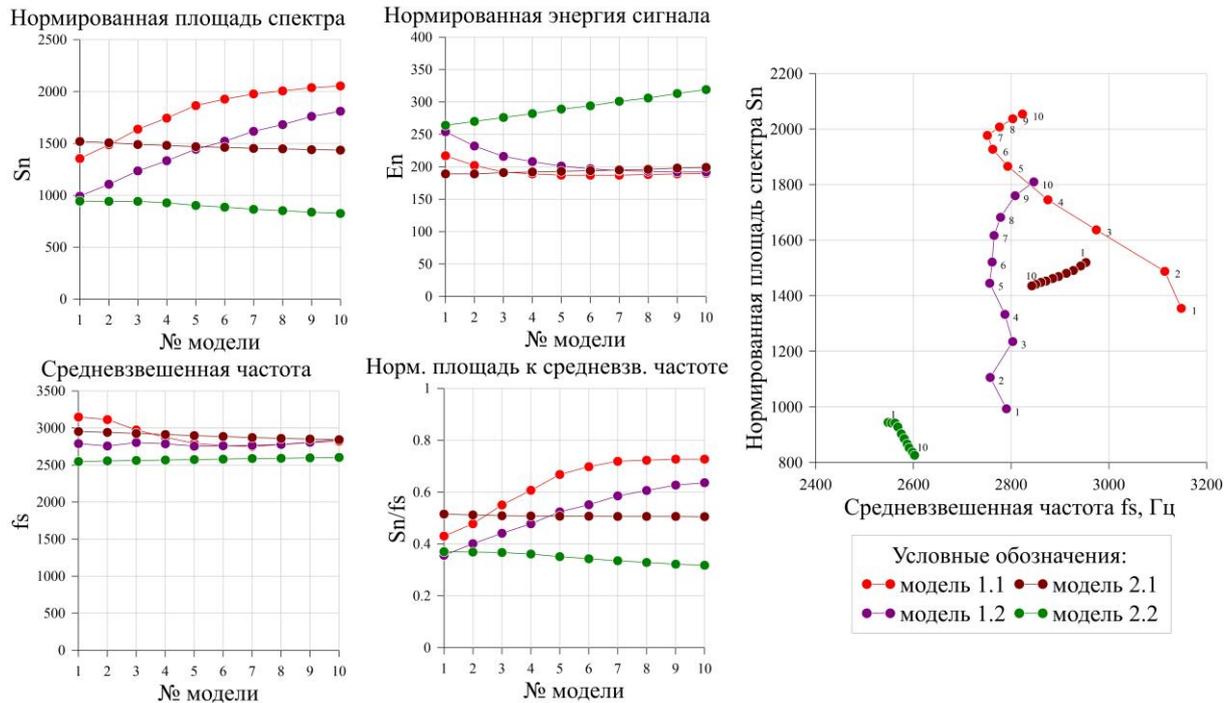


Рис. 2. Поведение динамических атрибутов акустического сигнала при изменении свойств вмещающих грунтов и атрибутивная диаграмма «Нормированная площадь спектра – Средневзвешенная частота»

Результаты численного моделирования позволяют сделать ряд наблюдений о поведении динамических атрибутов для случаев заглубления свай в грунты с сильным и слабым контрастом акустических свойств, сравнить отклик свай с нарушенной и не нарушенной сплошностью.

Полученные в результате моделирования сигналы близки к данным натурных измерений на сваях с аналогичными характеристиками, что позволяет использовать полученные выводы для анализа полевых данных. Подготовленные серии моделей будут использованы в качестве основы для дальнейшего уточнения методики интерпретации динамических атрибутов отклика системы свая-грунт.

Работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Капустин, и др. // Геотехника. 2018. № 5-6. С. 62-71.
2. В.В. Капустин, А.А. Чуркин // Материалы XV Общероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», г. Москва, 26 – 29 ноября 2019 г. 2019. С. 353-358.
3. И.Н. Лозовский, А.А. Чуркин, Р.А. Жостков. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84. №2. С. 272–277.
4. Р.А. Жостков свидетельство о регистрации прав на ПО № 2019665509.
5. Р.А. Жостков свидетельство о регистрации прав на ПО № 2019665449.
6. Р.А. Жостков свидетельство о регистрации прав на ПО № 2018662840.
7. R.P.S. Pasqual, A.C.M. Kormann // Multi-Science Journal. 2019. Vol. 2. P. 1-8.