

УДК 550.34

DOI [10.37153/2618-9283-2022-5-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-67-78)

Есть мнение

Об определении частотных характеристик грунтового массива

Алешин А.С.¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация

Аннотация: Частотная характеристика является одним из существенных параметров сейсмических колебаний грунтового массива, и определение ее – одна из важнейших задач инженерной сейсмологии. В статье рассмотрены различные варианты полевых и расчетных методик получения частотных характеристик грунтового массива. Отмечены как достоинства, так и недостатки каждой из рассмотренных методик. Показано, что наиболее достоверные и физически ясные результаты получены, когда в качестве возбуждающего воздействия используется короткий импульс.

Ключевые слова: частотные характеристики, грунтовый массив, горизонтальные и вертикальные группы, компьютерное моделирование, импульсное возбуждение сейсмических колебаний

Для цитирования: Алешин А.С. Об определении частотных характеристик грунтового массива // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2022. № 5. С. 67–78. DOI: [10.37153/2618-9283-2022-5-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-67-78)

Viewpoints

On determination of the soil massif frequency characteristics

Aleshin A.S.¹

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth, The Russian Academy of Sciences (IPE RAS).
Moscow, Russian Federation

Abstract: Frequency response is one of the essential parameters characterizing seismic vibrations of the soil mass, and its determination is one of the most important tasks of engineering seismology. The article considers various variants of field and computational methods for obtaining the frequency characteristics of the soil massif, both advantages and disadvantages of each of the considered methods are noted. It is shown that the most reliable and physically clear results are obtained when a short pulse is used as an exciting impact.

Keywords: frequency characteristics, soil mass, horizontal and vertical groups, computer modeling, pulse excitation of seismic vibrations

For citation: Aleshin A.S. On determination of the soil massif frequency characteristics. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* = *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2021, no. 3, pp. 67-78. (In Russian)

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-5-67-78](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-5-67-78)

@ Алешин А.С., 2022

Введение

Частотная характеристика является одним из существенных параметров, описывающих сейсмические колебания грунтового массива, и определение ее – одна из важнейших задач инженерной сейсмологии. Существуют различные методики определения частотных характеристик колебаний грунтового массива при сейсмических воздействиях. В наиболее распространенном способе, описанном в нормативном документе [1], рекомендуется частотную характеристику определять по отношениям спектров землетрясений, зарегистрированных на изучаемом и эталонном участках. В качестве эталонного определяется участок выхода на дневную поверхность скальных грунтов. В другом способе, описанном в статье [2], для получения спектральной характеристики грунтового массива предлагается использовать регистрацию сейсмических колебаний вертикальной группой приемников, расположенных в скважине. Наконец, в ряде публикаций [3,4] для расчета частотной характеристики предлагается использовать возбуждение колебаний в модели грунтового массива коротким импульсом. По существу, эта последняя рекомендация вошла в нормативный документ [5]. Удивительно, но это новаторское предложение осталось почти незамеченным экспертным сообществом. Отчасти это можно объяснить недостаточным разъяснением в рамках документа [5] возможного практического использования предложенной методики. Следовало бы уделить больше внимания данному вопросу. Настоящая публикация призвана восполнить этот недостаток.

Методика определения частотной характеристики по РСН -65 -87

При полевых сейсмологических наблюдениях частотную характеристику грунтов согласно п. 3.1.8 документа [1] следует определять по отношениям спектров землетрясений, зарегистрированных на изучаемом и эталонном участках. В качестве эталонного принято рассматривать участок выхода скальных пород на дневную поверхность. При этом предполагается, что вследствие малого затухания сейсмических колебаний в скальном грунте спектр будет наиболее широким. Расчет частотной характеристики $F(f)$ на каждой частоте f предлагается производить по формуле:

$$F(f) = F_i(f)/F_0(f),$$

где $F_i(f)$ и $F_0(f)$ – спектральные плотности на данной частоте f соответственно изучаемого и эталонного грунта. При этом ни в этом документе, ни в других работах не было рассмотрено как расстояние между точками регистрации сейсмических колебаний влияет на определение частотной характеристики, а это важно. Это обстоятельство поясняется рисунком 1, где схематично представлена схема регистрации.

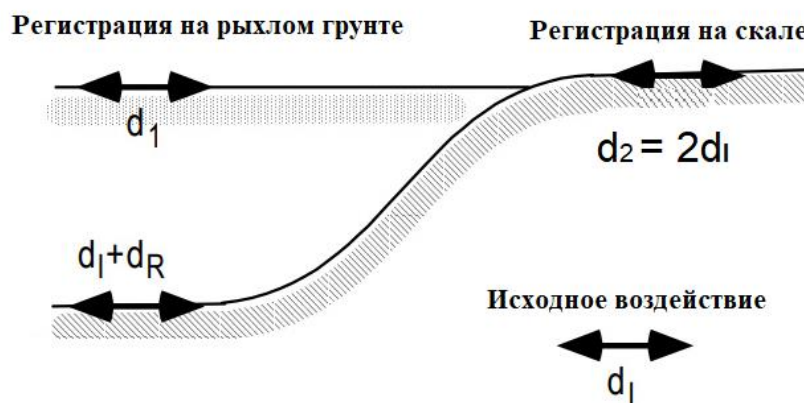


Рисунок 1 – Схема регистрации согласно РСН -65-87

Figure 1 – Registration scheme according to RSN -65-87

На схеме рис.1 символом d_1 обозначено исходное сейсмическое воздействие, подходящее нормально к дневной поверхности из нижнего полупространства и регистрируемое в двух точках. Символами d_1 и d_2 обозначены записи сейсмических колебаний на кровле массива рыхлых грунтов и выходов скальных пород. Символами $d_1 + d_R$ обозначен процесс прохождения сейсмических колебаний через границу контакта скальных пород нижнего полупространства и слоя рыхлых грунтов в виде суммы падающих d_1 и частично отраженных d_R сейсмических колебаний. Выражение $d_2 = 2 d_1$ обозначает процесс удвоения амплитуды сейсмических колебаний на дневной поверхности.

Как ни покажется странным, но найти правдоподобные данные экспериментальных определений частотных характеристик грунтового массива во множестве литературных источников оказалось непростой задачей по ряду причин. Достоверные данные (с возможной проверкой) содержатся в работе [6]. Аналогичных примеров с более сложным строением грунтовой толщи обнаружить не удалось. По этой причине пришлось прибегнуть к моделированию экспериментальной ситуации.

Для конкретных расчетов были использованы модели с параметрами грунтового массива и скального полупространства, заданные следующей таблицей 1.

Таблица – Параметры моделей грунтовой толщи и скального полупространства

Table 1 – Parameters of models of soil thickness and rock half-space

Модель 1 рыхлого грунта в точке 1			
Грунт	Мощность, м	Плотность, г/см³	Скорость V_s, м/с
Песок	7	1,8	300
Ил	3	1,6	200
Гравий	20	2,0	500
Скала	∞	2,4	1200
Модель 2 скального грунта в точке 2			
Выветрелая скала	10	2,0	800
Скала	∞	2,5	1200

Возбуждение сейсмических колебаний задавалось акселерограммами нескольких землетрясений, различающихся магнитудой и гипоцентральной расстоянием. Параметры землетрясений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры использованных землетрясений

Table 2 – Parameters of used earthquakes

Наименование	Дата	Магнитуда	Расстояние, км
Аляска	7/30/72	7,5	48
Империял Вэлли	10/15/79	6,6	58
Сан Франциско	3/22/57	5,3	11

Для расчетов была использована программа *NERA* [7]. Результаты расчетов в виде частотных характеристик приведены на рисунках 2 – 4.

Частотные характеристики, приведенные на рис. 2–4, получены как отношение спектров Фурье модели 1 и модели 2, что соответствует предложениям из норматива [1]. Локальные пики на графике частотной характеристики рис. 2 обусловлены влиянием спектра возбуждающего импульса. Наличие локальных пиков является общей особенностью частотных характеристик грунтовых толщ и сглаживание этих пиков – важная задача обработки сейсмических данных. На этот счет имеется обширная литература [8, 9]. Главная черта описанной методики получения частотных характеристик заключается в сравнении спектров Фурье на поверхности массива рыхлых и скальных грунтов в предположении компенсации при этом спектральных особенностей возбуждающего импульса, но, очевидно, это предположение оправдывается не в полной мере, что и является причиной изрезанности графика частотной характеристики.

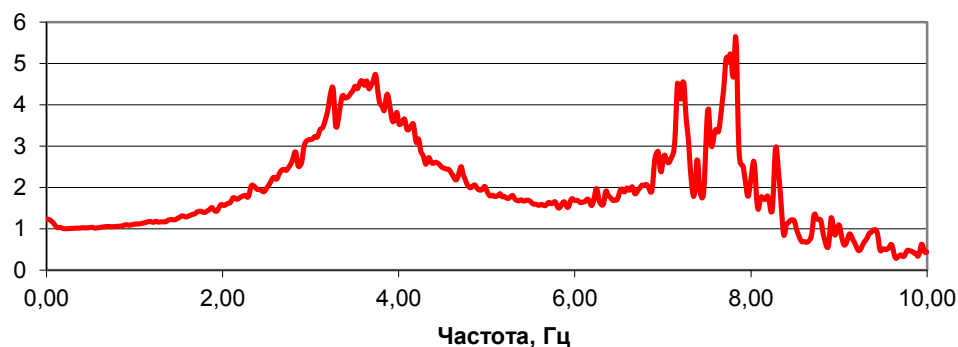


Рисунок 2 – Частотная характеристика модели рыхлого грунта согласно [1], возбуждение – землетрясение Аляска

Figure 2 – Frequency response of the loose soil model according to [1], excitation – Alaska earthquake

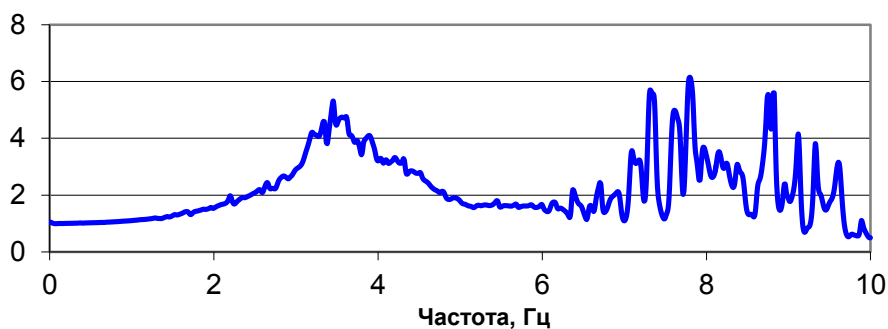


Рисунок 3 – Частотная характеристика модели рыхлого грунта согласно [1], возбуждение – землетрясение Империял Вэлли

Figure 3 – Frequency response of the loose soil model according to [1], excitation – Imperial Valley earthquake

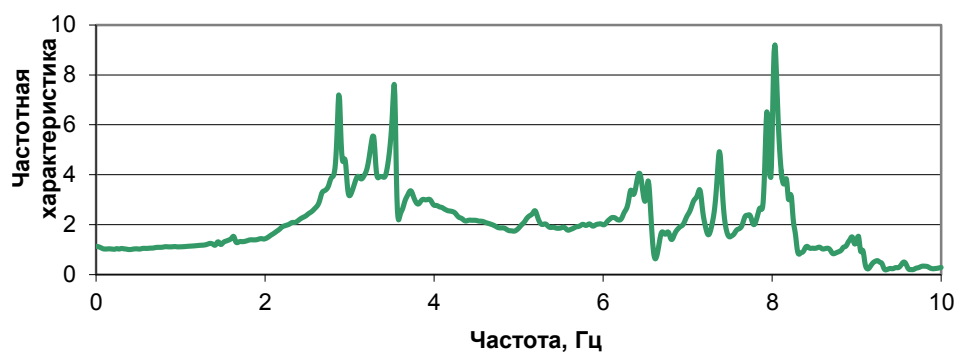


Рисунок 4 – Частотная характеристика модели рыхлого грунта согласно [1], возбуждение – землетрясение Сан-Франциско

Figure 4 – Frequency response of the loose soil model according to [1], excitation – San-Francisco earthquake

Подтверждением сказанного служит следующий рис. 5, где приведены спектры Фурье колебаний от землетрясения Сан-Франциско на моделях рыхлого и скального грунта.

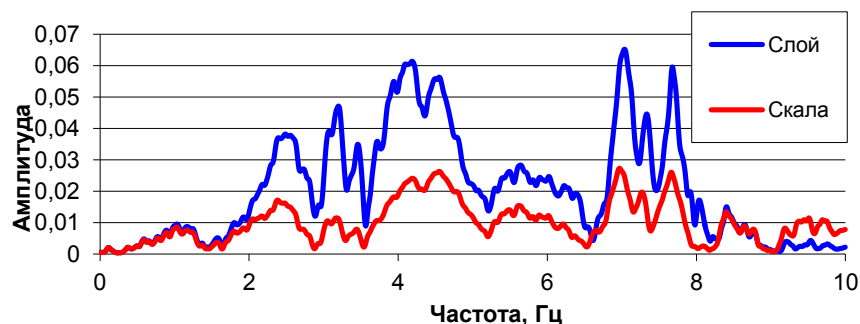


Рисунок 5 – Спектры Фурье колебаний от землетрясения Сан-Франциско на моделях рыхлого и скального грунта

Figure 5 – Fourier spectra of oscillations from the San-Francisco earthquake on models of loose and rocky soils

Следует также отметить, что частотные характеристики, приведенные на рис. 2–4, получены в предположении неполного соответствия свойств скального грунта на контакте с верхним слоем рыхлого грунта в месте выхода скального грунта на дневную поверхность. Это условие может не соблюдаться по ряду причин.

Во-первых, выход скального грунта на дневную поверхность может сопровождаться процессами выветривания, вследствие чего свойства скального грунта могут изменяться. Это обстоятельство отчасти учитывается использованием в модели 2 слоя выветрелых скальных пород. Но степень выветрелости и свойства этого слоя в каждом конкретном случае могут отличаться от модельных представлений.

Другая причина – при достаточно большом расстоянии между точками регистрации параметры (в том числе частотные) исходного сейсмического воздействия могут заметно изменяться и тем самым вносить искажения в частотную характеристику грунтового массива. В особенности это обстоятельство может проявляться при наличии на площадке изысканий разрывных нарушений, при которых свойства среды могут меняться по обе стороны разрыва. Таким образом, описанный способ определения частотных характеристик грунтового массива обладает, к сожалению, рядом принципиальных ошибок.

Регистрация сейсмических колебаний вертикальной группой

Основой описанной выше методики определения частотной характеристики грунтовой толщи является регистрация сейсмических колебаний горизонтальной группой приемников, расположенных в двух точках на дневной поверхности. Принципиально другая ситуация имеет место в случае регистрации сейсмических колебаний вертикальной группой приемников, расположенных в скважине.

К сожалению, в нашей стране отсутствует сейсмологическая аппаратура, необходимая для проведения скважинных сейсмологических наблюдений и потому нет возможности рассмотреть соответствующие примеры из отечественной практики. Ввиду сказанного приходится обращаться к источникам, основанным на зарубежных данных. В статье [2] приводятся и обсуждаются данные скважинных сейсмологических наблюдений в Японии. В частности, приведены грунтовые профили по двум скважинам до глубины 100 м и 140 м, а также соответствующие передаточные функции. Максимумы передаточных функций определены в области периодов около 0,125 с или 8 Гц.

Критическое рассмотрение всех аспектов статьи [2] не входит в задачу данной статьи, но нельзя не сделать ряд замечаний, имеющих отношение к обсуждаемым вопросам.

- 1) Резонансные эффекты, отмеченные в статье [2] связаны с самым верхним слоем уплотненных грунтов, которые при строительстве удаляют. Можно показать, что частоте резонанса 8 Гц соответствуют слои мощностью порядка 2–3 м и скоростью поперечных волн $V_s \approx 80 \div 100$ м/с.
- 2) На графиках рис. 2 из статьи [2] представлена толща до 100 м и более, включающая слои, мощности и скорости поперечных волн которых соответствуют частотам более низким, чем те, что приведены в рассматриваемой статье.
- 3) Нелинейность, отмеченная в статье [2], при воздействиях не более 0,1 g относится к поведению слабых грунтов верхней части грунтового массива. Недопустимо без достаточных оснований переносить эти проявления нелинейности на поведение грунтов, лежащих на больших глубинах и характеризующихся более высокими значениями скоростей поперечных волн.

Таким образом, рекомендации, содержащиеся в заключении статьи [2], представляются недостаточно обоснованными и, именно потому, сомнительными.

Определение частотной характеристики расчетным методом

В отличие от описанных методов полевых сейсмологических наблюдений другие методики определения частотной характеристики грунтового массива целиком относятся к расчетным методам СМР.

В нашей стране расчетные методы связаны с широким распространением программы КОЕФ-10 [10]. Эта программа используется для оценки колебаний свободной поверхности слабо поглощающей пачки слоев рыхлого грунта, залегающей на жестком скальном полупространстве. Алгоритм этой программы основан на следующих предпосылках. Границы между слоями плоские горизонтальные без проскальзывания. Слоистая слабо поглощающая однородная изотропная толща контактирует с нижележащим упругим полупространством, из которого под произвольным углом падает плоская упругая гармоническая волна P, SV или SH с единичной амплитудой смещения и заданной частотой. Вычисляются амплитуды и фазы вертикальной и горизонтальной компонент смещений верхней границы слоистой толщи, а также амплитуды и фазы коэффициентов отражения плоских волн P и SV от слоистой толщи. В случае, когда в качестве падающей волны задается запись колебаний при землетрясении, решается соответствующая нестационарная задача и определяется вид колебаний на поверхности слоистого массива.

В работе [11] по результатам использования программы расчетов КОЕФ-10 сделан ряд физически достаточно ясных выводов:

- увеличение мощности рыхлой толщи h приводит к сдвигу резонансной кривой в низкочастотную область;
- уменьшение скорости V_s в слое приводит к увеличению времени пробега волны в слое и равносильно увеличению мощности слоя;
- поглощение сглаживает спектральные характеристики, уменьшается число пиков и их амплитуд вследствие резкого ослабления многократных волн и потери высокочастотных составляющих колебаний;
- поглощение уменьшает продолжительность колебаний;
- интенсивность колебаний мощных поглощающих грунтовых толщ может оказаться ниже интенсивности колебаний жестких плотных грунтов.

Из зарубежных компьютерных программ расчетов отклика слоистой упругой среды на сейсмические воздействия на основе матричного метода обратим внимание на программу *SHAKE*, предназначенную для расчета влияния слоистой грунтовой толщи на динамические характеристики сейсмических колебаний, источник которых находится в полупространстве, на поверхности грунта или в любом из слоев грунтовой толщи. Моделировалось одномерное (вертикальное) распространение волн в предположении, что

слои грунтовой толщи залегают горизонтально. Все расчеты велись в линейном приближении, т.е. в предположении пропорциональности напряжений и деформаций. Таким образом, акселерограммы, зарегистрированные на поверхности осадочной толщи, могли быть пересчитаны в акселерограммы, относящиеся к скальному основанию. А они, в свою очередь, могли быть использованы для задания исходного колебания в основании осадочной толщи с другими свойствами и строением.

Дальнейшее усложнение модели слоистой среды нашло свое воплощение в программе *NERA*, в которой расчеты основаны на модели, учитывающей механизм нелинейного поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях [7]. Входное воздействие задается в цифровом виде акселерограммой. Шаг квантования по времени Δt может изменяться, в соответствии с чем меняется длительность и частотный состав обрабатываемого процесса. Таким образом, общая длительность входной сейсмограммы может меняться в весьма широких пределах. Заданное сейсмическое воздействие можно масштабировать по амплитуде. Скоростной разрез задается системой плоскопараллельных слоев, для каждого из которых задается значение мощности, плотности ρ и скорости V_s . Для каждого слоя задается также тип грунта – песчаный, глинистый, гравелистый или скальный. Соответственно с типом грунта в программе автоматически назначается специфическое поглощение и кривая нелинейной связи между напряжением и деформацией. Вычислительная процедура программы *NERA* устроена на базе электронных таблиц *Excel*. Выходные данные *NERA* включают выдачу следующих сведений: импульсная реакция системы или акселерограмма с учетом влияния грунтов, коэффициент спектрального усиления, спектр Фурье и спектр реакции при 5% затухании. Помимо этих «стандартных» выходных данных имеется возможность получать коэффициенты динамичности – спектры реакции, нормированные на значения при «нулевом» периоде.

То, что программой рассчитывается одномерная задача, да еще при нормальном падении сейсмических волн на слоистую толщу грунтов, нельзя в данном случае отнести к недостаткам *NERA*, поскольку именно такая упрощенная постановка задачи позволяет уверенно контролировать ход решения и получаемые результаты. Более сложная постановка и соответствующая программа не смогли бы обеспечить выполнение поставленной задачи, что лишало бы доверия к получаемым результатам.

Таким образом, было промоделировано множество конкретных задач СМР, начиная от определения значений грунтовых коэффициентов, влияния инверсных разрезов на волновое поле, и заканчивая исследованием нелинейных процессов при сильных сейсмических воздействиях. В контексте обсуждаемой проблемы отметим, что важнейшие результаты компьютерного моделирования, представленные рис. 2 – 4, получены с использованием программы *NERA*.

Определение частотной характеристики с использованием импульсного возбуждения

Еще более впечатляющие результаты определения частотной характеристики грунтового массива можно получить с использованием в качестве входного воздействия короткого импульса. Спектр такого воздействия постоянен в полосе частот порядка $[0; 1/\tau]$, где τ – длительность возбуждающего импульса, равного интервалу дискретизации. При этом вместо акселерограммы колебания в грунтовом массиве возбуждаются одиночным импульсом с амплитудой (в ускорениях свободного падения g): для 7-балльного воздействия $0,1 g$, для 8-балльного – $0,2 g$ и т.д. Такой способ возбуждения использовался при моделировании волновых процессов в исследованиях, описанных в книге [3] и в статье [4].

На рис.6 приведен график частотной характеристики модели 1 – рыхлого слоя, подстилаемого скальным полупространством.

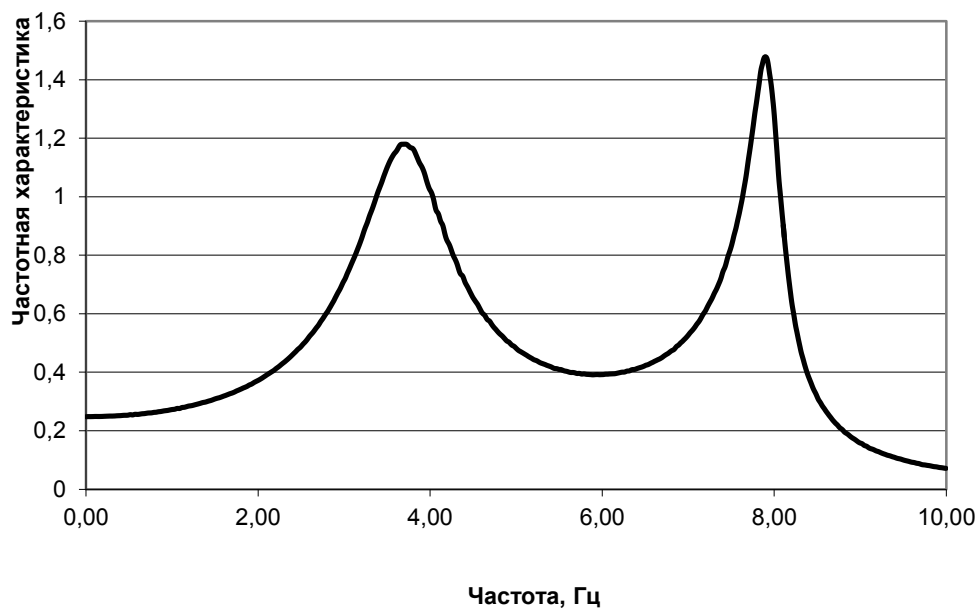


Рисунок 6 – Частотная характеристика модели 1, импульсное возбуждение

Figure 6 – Frequency response of model 1, pulse excitation

Как видим, побочные осцилляции на графике отсутствуют, что обусловлено особенностями колебаний при возбуждении коротким импульсом модели скального грунта. Иллюстрацией сказанного служит рис. 7.

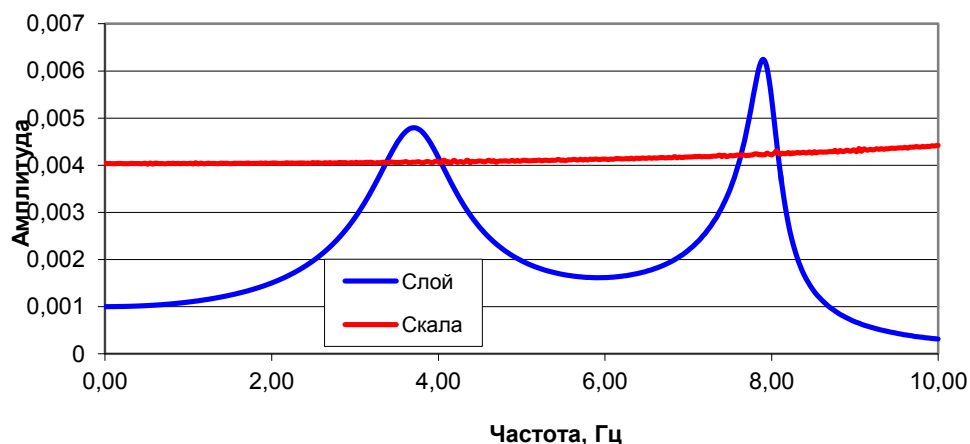


Рисунок 7 – Спектры Фурье колебаний от возбуждения коротким импульсом на моделях рыхлого и скального грунта

Figure 7 – Fourier spectra of oscillations from excitation by a short pulse on models of loose and rocky soils

В заключение продемонстрируем возможности импульсного возбуждения на моделях из работы [2]. Параметры моделей на станциях АОМН12 и АОМН13 приведены в таблице

3. В модели станции АОМН12 не учтен маломощный слой почв. Плотности слоев взяты из данных работы [12].

Таблица 3 – Параметры моделей грунтовых профилей из работы [7]

Table 3 – Parameters of models of soil profiles from work [7]

Станция АОМН12			
№ п/п	Мощность слоя, м	Плотность, т/м ³	Скорость V_s , м/с
1	20	1,7	300
2	20	2,0	500
3	15	1,8	400
4	25	2,1	600
5	10	2,0	500
6	∞	2,5	800
Станция АОМН13			
№ п/п	Мощность слоя, м	Плотность, т/м ³	Скорость V_s , м/с
1	3	1,6	100
2	18	1,65	120
3	18	1,7	200
4	28	1,9	360
5	51	2,0	400
6	33	2,1	450

Рассчитанные по программе NERA частотные характеристики обеих моделей приведены на рис. 8.

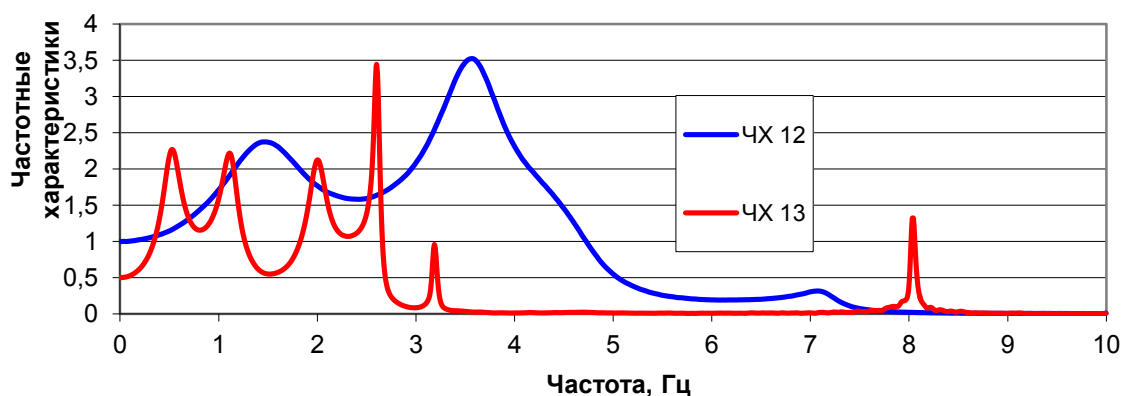


Рисунок 8 – Частотные характеристики моделей станций АОМН12 и АОМН13, импульсное возбуждение

Figure 8 – Frequency characteristics of АОМН12 and АОМН13 station models, pulse excitation

Очевидно, что вид частотных характеристик соответствует скоростным разрезам обеих моделей. Так максимум частотной характеристики станции АОМН13 смещен в область более низких частот относительно соответствующего параметра станции АОМН12. Наиболее низкий локальный максимум частотной характеристики станции АОМН13 в диапазоне частот порядка 0,5 Гц соответствует параметрам модели грунтовой толщи: суммарная мощность грунтового массива $H = 150$ м и средняя скорость $V_s \approx 270$ м/с

соответствуют резонансной частоте $f = V_s/4H \approx 270/600 = 0,45$ Гц. Самый высокий по частоте локальный максимум частотной характеристики станции АОМР13 при частоте $f \approx 8$ Гц соответствует самому верхнему слою грунтового массива с мощностью $h = 3$ м и скоростью $V_s = 100$ м/с, что соответствует выражению $f = V_s/4h = 100/12 \approx 8$ Гц. Заметим также, что аналогичный максимум частотной характеристики на станции АОМН12 появляется, если к модели грунтового массива этой станции добавить верхний низкоскоростной маломощный слой почв.

Заключение

В настоящей статье рассмотрен ряд полевых и расчетных методик определения частотных характеристик грунтового массива. Показано, что определение частотных характеристик как отношения спектров Фурье колебаний на поверхности исследуемого и эталонного грунта в месте выхода скальных грунтов на дневную поверхность обладают целым рядом недостатков. Проанализированы причины этих недостатков. Наблюдения сейсмологических колебаний от землетрясений в скважинах не могут быть выполнены из-за отсутствия необходимой аппаратуры. В этих условиях в наибольшей степени обеспечить получение желаемых частотных характеристик способны расчетные методы. Наиболее качественные результаты получаются в случае, когда для возбуждения колебаний в модели грунтовой толщи используется короткий импульс.

Список литературы

1. Республиканские строительные нормы. РСН- 65-87. М.: Стройиздат. 1987.
2. Дещеревская Е.В., Павленко О.В. Частотно-зависимый отклик мягких (песчаных и лессовых) грунтов на сейсмические воздействия и метод сейсмических жесткостей // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2020. №1. С. 53–62.
3. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. М.: Научный мир. 2017. 300 с.
4. Алешин А.С. О спектральных характеристиках грунтовой толщи // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2018. №5. С.16–23.
5. СП 283.1325800.2016. Свод правил. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М., Минстрой России. 2016.
6. Штейнберг В.В., Алексин П.А., Зонина З.А. Колебания скального и рыхлого грунтов в эпицентральной зоне Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. // *Вопросы инженерной сейсмологии*. Сб. «Влияние грунтов на интенсивность сейсмических колебаний» (вып.15). Изд-во «Наука», 1973. С. 103–111.
7. Bardet J.P., Tobita T. NERA. F Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California. Department of Civil Engineering, April, 2001, p. 44.
8. Сакс М.В. Физические параметры модели. Сб. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука. 1984. С.132 – 142.
9. Тарасов Н.Т., Шпилькер Г.А. Сглаживание спектров Фурье сейсмических сигналов. Сб. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука. 1984. С. 143 – 150.
10. Ратникова Л.И., Левшин А.Л. Расчет спектральных характеристик тонкослоистых сред // *Известия АН СССР, Физика Земли*. 1967. №2. С. 41– 53.
11. Методика оценки сейсмических воздействий // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 1993, вып. 34. 155 с.
12. Назаров Г.Н. Скорости распространения продольных и поперечных волн в грунтовых массивах и основные инженерно-геологические характеристики грунтов. Сб. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука. 1977. С.129–137.

References

1. Republican building codes. RSN-65-87. M.: Stroiizdat, 1987 (In Russian).
2. Dshcherevskaya E.V., Pavlenko O.V. Frequency-dependent Response of Soft (Sandy and Loess) Soils in Seismic Motion and Seismic Rigidity Method. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2020, no.1, pp.53–62 (In Russian).
3. Aleshin A.S. The continuum theory of seismic microzonation. M.: Scientific World, 2017. 300 p. (In Russian)
4. Aleshin A S. On the spectral characteristics of the soil massif. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2018, no.5, pp.16–22 (In Russian).
5. SP 283.1325800.2016. High critical building objects. Rules of seismic microzonation. M., 2016. (In Russian)
6. Shteinberg V.V., Aleksin P.A., Zonina Z.A. Kolebaniya skal'nogo i rykhlogo gruntov v epicentral zone Dagestanskogo zemletryaseniya 14.05.1970 goda. Vliyanie gruntov na intensivnost' seismicheskikh kolebaniyi. *Voprosy inzhenernoy seismologii [Problems of engineering seismology]*. 1973. Vol.15, pp.103–111 (In Russian)
7. Bardet J.P. and Tobita T. NERA. F Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California. Department of Civil Engineering. April, 2001, p. 44.
8. Saks M.V. Fizicheskie parametry modeli. Seismicheskoe mikrorayionirovanie (Seismic microzonation). M.: Nauka, 1984, pp.132–142. (In Russian)
9. Tarasov N.T., Shpil'ker G.A. Sglazhivanie spektrov Furie seismicheskikh signalov. Seismicheskoe mikrorayionirovanie (Seismic microzonation). M.: Nauka, 1984, pp.143–150 (In Russian)
10. Ratnikova L.I., Levshin A.L. Raschet spectral'nykh kharakteristik tonkosloistyikh sred. *Izv.AS USSR, Fizika Zemli (Physics of the Earth)*. 1967, no.2, pp. 41–53 (In Russian)
11. Metodika otsenki seismicheskikh vozdeistviy. In.: *Zadanie seismicheskikh vozdeistviy*. M.: Nauka, 1993 (In Russian)
12. Nazarov G.N. Skorosti rasprostraneniya prodol'nykh i poperechnykh voln v gruntovykh massivakh i osnovnye injenerno-geologicheskie kharakteristiki gruntov. In: *Seismicheskoe mikrorayionirovanie (Seismic microzonation)*. M.: Nauka, 1977, pp.129–137 (In Russian)

Данные об авторе/Information about author

Алешин Александр Степанович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник. Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Москва, Российская Федерация
asa@ifz.ru

Aleshin Alexander S., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, chief researcher, The Schmidt Institute of Physics of the Earth, The Russian Academy of Sciences (IPE RAS). Moscow, Russian Federation
asa@ifz.ru