

Определение геосейсмических параметров грунтовой толщи, дающих сейсмическую характеристику грунтов

О.Г. Присс¹, Р.С. Кузнецов²

¹Невинномысский Государственный гуманитарно-технический институт
²ООО "ЭПиРИ" (Экспертиза проектов и результатов исследования), Москва

Аннотация: В статье рассмотрен метод сетевых сейсмических полей, который позволяет определить геосейсмические параметры грунтовой толщи, дающие сейсмическую характеристику грунтов. Определены средние значения скоростей продольных и поперечных волн, характеризующие обобщенный геосейсмический разрез. На основе скоростных и плотностных характеристик грунтов выполнены расчеты приращений сейсмической интенсивности относительно параметров эталонного грунта.

Ключевые слова: сейсмическая характеристика грунтов, скорость продольных волн, скорость поперечных волн геосейсмический разрез, пространственные границы геологического объекта.

1.Первая часть

Для определения геосейсмических параметров грунтовой толщи, дающих сейсмическую характеристику грунтов, использовали метод сетевых сейсмических полей.

Метод разработан на основе патента РФ №2422795 на изобретение «Способ резонансно-скоростной сейсморазведки». Метод сетевых сейсмических полей – резонансно-скоростной. Восьмиканальная спектрометрическая аппаратура МССП-РС-1.

Наиболее близкий аналог из применяемых методов: по основному признаку состава работ «наблюдение и запись во времени амплитудно-частотного спектра микроколебаний» ближайшим аналогом является метод сейсмологические наблюдения за микроколебаниями грунтов.

Физическая модель способа на уровне атомной структуры кристаллических решёток вещественного состава горной породы представляется следующим образом (краткое описание):

1. Возбуждение ударным воздействием на грунт коллективного синхронного колебания критического количества атомов (количество атомов достаточного для устойчивого развития распространяющегося колебательного процесса).

2. Развитие процесса распространения автоколебаний путём вовлечения в развитие синхронного колебательного процесса атомов, находящихся в состоянии теплового равновесия и микросейсмических колебаний, в граничном с возбуждёнными атомами слое.

Системными характеристиками процесса распространения колебаний являются следующие:

- изменение (уменьшение) частоты колебаний с увеличением количества колеблющихся атомов. Диапазон изменения частоты колебаний 25000 Гц (минимум) - 0,1 Гц;

- скорость изменения (уменьшения) частоты колебаний с увеличением количества колеблющихся атомов. При исследовании массива грунтов (горных пород) до глубины 80-100 м. величина данной скорости остаётся практически постоянной. Определяется эмпирическим путём, например по результатам анализа и обобщения сравнительных результатов, полученных данным способом и бурением скважин;

- скорость возбуждения атомов в граничном слое (скорость распространения волнового фронта) зависит от плотности среды, пространственного положения узлов кристаллических решёток, степени «жёсткости» связи между атомами, и других физических и физико-механических свойств вещества геологических объектов;

- энергия возбуждения колебаний атомов в граничном слое определяется степенью близости процесса возбуждения атомов и саморегулирования к резонансному (расстоянием между атомами в узлах кристаллических решёток) плотностью, степенью «жесткости» связи между

атомами (например, границы геологических объектов) и другими факторами (например, тепловыми потерями).

Близость к эффекту резонанса определяет развитие процесса возбуждения (распространение колебаний) с системным изменением частоты с минимальными потерями энергии на значительные глубины[1]. Изменение энергии отражается в амплитуде соответствующей частоты колебаний.

Физическая модель способа на уровне атомной структуры кристаллических решеток вещественного состава горной породы представляется следующим образом (краткое описание):

1. Возбуждение ударным воздействием на грунт коллективного синхронного колебания критического количества атомов (количество атомов достаточного для устойчивого развития распространяющегося колебательного процесса).

2. Развитие процесса распространения автоколебаний путём вовлечения в развитие синхронного колебательного процесса атомов, находящихся в состоянии теплового равновесия и микросейсмических колебаний, в граничном с возбужденными атомами слое.

3. При выполнении исследований все характеристики процесса распространения колебаний регистрируются специальным сейсмоприемником и записываются спектрометрической аппаратурой в режиме реального времени. Возбуждение колебаний осуществляется рядом с сейсмоприемником.

4. Сила механического удара возбуждения значительно ниже, чем создаваемая в известных способах сейсмической разведки МПВ и МОГТ для получения подобной информации. Характеристики процесса возбуждения также записываются.

5. Методика исследований: возбуждение, регистрация и запись на каждой точке профиля.

По результатам обработки полученных в каждой точке записей определяется:

- расположение вертикально по глубине границ геологических объектов, интервалов изменения вещественного состава;
- изменение вертикально по глубине времени распространения колебательного процесса.

По результатам определения времени распространения колебательного процесса вертикально по глубине, рассчитываются скорости распространения колебаний в массиве грунтов.

По результатам обработки всех точек профиля: выделяются пространственные границы геологических объектов, изменения вещественного состава, тектонических нарушений, карстов и др.; строится скоростной разрез; определяются физико-механические свойства грунтов[1].

За основу определения, вертикально по глубине, границ геологических объектов принимается установленная связь $F_i = K \cdot 1 / H_i$, где F_i (Гц) - частота колебаний, динамические характеристики спектра которой определяют наличие границы, H_i (м) - глубина выделения границы, K - коэффициент пропорциональности. Физический смысл коэффициента K – скорость изменения (уменьшения) частоты колебаний с увеличением количества колеблющихся атомов. Время распространения t_i колебательного процесса до выбранной границы H_i (м) определяется измерением времени появления в частотном спектре, соответствующей выбранной границе, частоты F_i .

Скорость распространения колебаний (V_i) в массиве грунтов (горных пород) до выбранной границы H_i определяется из выражения: $V_i = H_i / t_i$.

Технология и техника выполнения исследований наиболее близки к записи и обработке микроколебаний (микросейсм), так как, в сущности, организуется возбуждение микроколебаний с последующей записью во

времени амплитуды и спектра частоты распространяющихся в массиве пород микроколебаний[2].

Аппаратура МССП-РС-1 представляет собой 8-и канальную спектрометрическую систему, обеспечивающую регистрацию частотно-амплитудного спектра вынужденных колебаний грунтов, времени распространения данных колебаний в грунте, количественного и качественного изменения частотно-амплитудного спектра во времени. Категория аппаратуры - опытно-методические образцы, используемые в инженерных изысканиях для решения производственных и научных задач.

Структурно аппаратура представляет собой модульную сборку на базе полевого ноутбука. Входящие в сборку модули (многоканальный широкополосный усилитель, многоканальный АЦП, устройство временной синхронизации, устройство измерения и регистрации силы ударного воздействия на грунт и др.) являются новейшими отечественными разработками, предназначенными для формирования спектрометрической аппаратуры, обеспечивающей по своим характеристикам возможность выполнения с высоким уровнем достоверности научно-исследовательские (соответственно и производственные - инженерные) работы в области изучения формирования и распространения в горных породах сейсмических, сейсмоакустических полей. Регистрация, визуализация и обработка данных осуществляется программным обеспечением PowerGraph Professional[3].

При выполнении исследований установка сейсмоприемника в точках физических наблюдений осуществлялась вертикально по отвесу.

Регистрация сейсмических сигналов в каждой точке физического наблюдения осуществлялась по методу накопления (3-5 сигналов) с отбором по критериям качества для включения в последующую обработку. В ряде случаев, для повышения достоверности получаемых результатов, помимо

накопления сигналов осуществлялся подбор оптимальной силы возбуждения колебаний, изменение технологии возбуждения колебаний.

Поскольку метод сетевых сейсмических полей позволяет определять параметры разреза до глубины порядка 70 м, то расчёты приращений сейсмической интенсивности были выполнены на расчётную мощность 30 м, считая от планировочной отметки[4].

2.Вторая часть

При выполнении математического моделирования реакции грунтов на сильные землетрясения с учётом нелинейных деформаций были использованы синтетические акселерограммы. Расчёт выполнялся для 2 вариантов синтетических акселерограмм землетрясений с магнитудами 5,5 – 6,0, эпицентрными расстояниями 12,3–27,4 км, и глубиной очага 6,5 – 9,0 км.

Для расчёта применялся метод сетевых сейсмических полей и была использована одна синтетическая акселерограмма, имеющая наибольшие ускорения (111,58) и 1 угол подхода сейсмических волн в 5 градусов (наиболее интенсивные колебания). Все необходимые для выполнения расчётов параметры были получены по данным сейсморазведки КМПВ и метода сетевых сейсмических полей и выполненных инженерно-геологических изысканий на изучаемой площадке[5].

В качестве коренного основания принят слой, соответствующий по сейсмическим параметрам грунтам 1 категории[6].

Акселерограммы рассчитывались для определения приращений сейсмической интенсивности путем деления расчетных акселерограмм на исходные для «средних» грунтовых условий по формуле: $I=3,3lg(A_{расч.}/A_{синт.})$, поэтому абсолютные максимумы акселерограмм носят относительный характер и не претендуют на использование их при расчетах устойчивости зданий и сооружений[7].

В результате количественной интерпретации годографов определены геосейсмические параметры грунтовой толщи, дающие сейсмическую характеристику грунтов площадки[8].

На основе “привязки” сейсмических параметров разреза с инженерно-геологическими данными определены средние значения скоростей продольных и поперечных волн, характеризующие обобщенный геосейсмический разрез.

Разрез площадки характеризуется градиентным нарастанием скоростей с глубиной. Обращает внимание относительно низкие значения коэффициента отношения скоростей продольных и поперечных волн, что является показателем малой степени водонасыщенности грунтов и отсутствия подземных вод в пределах исследованной глубины, за исключением сейсмозондирований 1/0 и 2/0, где в кровле выветрелых песчаников, вероятно, образовалось «блюдец» техногенных вод.

Чем больше соотношение продольных и поперечных волн, тем влажнее и водонасыщеннее является грунт[9]. По этому показателю грунты слоя 1 являются маловлажными, грунты слоя 2 и 3 – влажными.

На основе скоростных и плотностных характеристик грунтов выполнены расчеты приращений сейсмической интенсивности относительно параметров эталонного грунта-грунты II категории по сейсмическим свойствам, исходная сейсмичность 8 баллов[10].

Литература

1. Миндель И.Г., Севостьянов В.В., Трифонов Б.А, Рагозин Н.А. Особенности реакции слабых водонасыщенных грунтов на динамические воздействия при землетрясениях // Геоэкология. инженерная геология. гидрогеология. геокриология, 2014, № 5, с. 387-401.
2. Миндель И.Г., Севостьянов В.В., Трифонов Б.А. Особенности проявления сейсмических воздействий в районе размещения олимпийских объектов на



имеретинской низменности в сочи // Геоэкология. инженерная геология. гидрогеология. геокриология, 2010, № 2, с. 161-170.

3. Присс О.Г. Проектно-вычислительные комплексы в проектировании зданий и сооружений. // Инновационное инженерное образование (модели, технологии, опыт и перспективы). - Невинномысск, НГГТИ, 2011. – С.175-179.

4. Хохлов В.К., Кандидатов И.А. Исследование влияния свойств грунта на характеристики сейсмических сигналов// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер. «Машиностроение», 2013, №1, С.23.

5.Присс О.Г. История изучения инженерно-геологических условий территории кавказских минеральных вод и территории санатория «Красные Камни» // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4770

6. Присс О.Г., Кузнецов Р.С. Актуальные рекомендации при инженерно-геологических изысканиях на объекте в г. Ставрополь // Кавказский диалог (30 ноября 2018 года). - Невинномысск, НГГТИ, 2018. – С. 221-227.

7.Присс О.Г. Изучение гидрогеологических условий для общей оценке условий территории // Научный вестник НГГТИ №1. -Невинномысск, НГГТИ, 2018. – С. 19-21.

8. Присс О.Г. А Строительные стандарты в системе сертификации ISO // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3713

9. Triana A., Pastor D. Interrogation of super-structured FBG sensors based on discrete prolate spheroidal sequences // Proc. SPIE. V. 10231. P. 102310H.

10. Bolognini G. Hartog A. Raman-based fibre sensors: Trends and applications // Optical Fiber Technology. 2013. Vol. 19. No. 6. pp. 678–688.

References

1. Mindel I.G., Sevostyanov V.V., Trifonov B.A., Rogozin N.A. Geocology quamobrem terrae tremores fiant. Dissertatio ipsum. Hydrogeology. Geocryology. 2014, № 5, pp. 387-401.
2. Mindel I.G., Sevostyanov V.V., Trifonov B.A. Geocology quamobrem terrae tremores fiant. Dissertatio ipsum. Hydrogeology. Geocryology. 2010, № 2, pp. 161-170.
3. Priss O.G. Innovacionnoe inzhenernoe obrazovanie (modeli, tehnologii, opyt i perspektivy) [Innovative engineering education (models, technologies, experience and prospects)]. Nevinnomyssk, NGGTI, 2011. pp. 175-179.
4. Khokhlov V.K., Candide I.A Vestnik MSTU Aquilonem et Eurum Bauman, 2013: №1, p.23.
5. Priss O.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4770.
6. Priss O.G., Kuznetsov R.S Kavkazskij dialog [Caucasian dialogue]. Nevinnomyssk: NGGTI, 2018. pp. 221-227.
7. Priss O.G. Nauchnyj vestnik NGGTI [Scientific bulletin of NGGTI]. Nevinnomyssk: NGGTI, 2018. pp. 19-21.
8. Priss O.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3713.
9. Bolognini G., Hartog A. Optical Fiber Technology. 2013. Vol. 19. No. 6. pp. 678-688
10. Triana A., Pastor D. Proc. SPIE. V. 10231. P. 102310H.