

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 163 с.
2. Блинова Т.С., Удоротин В.В., Дягилев Р.А., Баранов Ю.В., Носкова Н.Н., Конанова Н.В. Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2015. – 178 с.
3. Гитис В.Г., Ермаков Б.В. Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике [электронный ресурс]. – М.: Физматлит, 2004. – 256 с.
4. Запорожцева И.В., Пыстин А.М. Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России. – СПб.: Наука, 1994. – 112 с.
5. Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Солодилов Л.Н. Модель литосферы под профилем Уральский по наблюдениям объемных продольных и обменных волн // Разведка и охрана недр. – 1994. – № 10. – С.15-18.
6. Крылов С.В. Сейсмические исследования литосферы Сибири. Избранные труды. – Новосибирск: Гео, 2006. – 345 с.
7. Сурина О.В., Дьяконова А.Г. Разработка электрогравитационной модели верхней части литосферы по Серовскому профилю (Северный Урал) // Литосфера. – 2015. – № 6. – С.101-115.
8. Blinova T., Evans R., Booth D., Semerikova I., Baranov Y. Seismic potential of the United Kingdom // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: Proceedings of 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO, SGEM 2015. – Albena, Bulgaria, 2015. – V. III. – P. 971-982. DOI: 10.5593/sgem2015B13.
9. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity regions // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM: 19th SGEM 2019, Bulgaria, 30 June-6 July. – Albena, 2019. – V. 19, № 1.1. – P. 813-820. DOI: 10.5593/sgem2019/1.1
10. Chadwick R.A., Pharaoh, T.C. The seismic reflection Moho beneath the United Kingdom and adjacent areas // Tectonophysics. – 1998. – V. 299. – № 4. – P. 255-279.
11. Teferle F.N., Bingley R.M., Orliac E.J., Williams S.D.P., Woodworth P.L., McLaughlin D., Baker T.F., Shennan I., Milne G.A., Bradley S.L. Crustal motion in Great Britain: Evidence from continuous GPS, absolute gravity and Holocene sea-level data // Geophysical journal international. – 2009. – № 178 (1). – P. 23-46.

УДК 622.235.53; 624.042.7

DOI:10.7242/echo.2020.2.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОГРАММ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОБСТВЕННЫХ (РЕЗОНАНСНЫХ) ХАРАКТЕРИСТИК ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А.В. Верхованцев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа посвящена вопросам оценки собственных (резонансных) частот охраняемых инженерных сооружений. Экспериментально определить резонансные характеристики существующего сооружения можно несколькими способами. Допускается оценка собственной частоты одним датчиком (расположенным в верхней части). Также возможен вариант одновременной регистрации в верхней части сооружения и непосредственно на фундаменте (или на грунте вблизи основания). В качестве источника можно использовать как микросейсмический шум, так и сигналы от дополнительных источников. В работе представлено сравнение резонансных характеристик, полученных разными подходами.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, резонансы, собственная частота, резонансная частота.

Введение

В области охраны инженерных зданий и сооружений важным является вопрос корректной оценки и учета собственных (резонансных) характеристик для обеспечения безопасности при возможных сейсмических воздействиях. Необходимость совместного изучения динамических характеристик сооружений с оценкой сейсмического опасности отмечается многими исследователями [1, 7] и связана тем, что повреждения происходили и продолжают происходить при относительно небольших скоростях колебаний

грунта. Кроме опасности, связанной с совпадением собственной частоты сооружения с частотами сейсмического воздействия, возможна дополнительная угроза наложения эффекта усиления колебаний за счет грунтовых условий в основании сооружения (резонансные особенности грунтов).

Количественные параметры, характеризующие резонансы сооружений, зависят от многих факторов: это технология и глубина фундамента, размеры в плане, высота сооружения, тип и конструкция перекрытий, материалы несущих конструкций и заполнителя, уровень износа, состояние объекта и многое другое. Необходимо также отметить, что заметные (существенные) резонансные эффекты могут наблюдаться лишь в сооружениях, имеющих некоторую значимую высоту. Например, в случае изучения сейсмического воздействия на обыкновенные типовые жилые здания, значимые усиления колебаний, вызванные резонансными эффектами, наблюдаются в зданиях, имеющих не менее 2-х этажей.

Нормативное регулирование

Несмотря на очевидную актуальность исследования резонансных характеристик сооружений и их влияния на усиление колебаний на верхних этажах, в документах, регламентирующих безопасность производства взрывных работ [4, 6, 8], данный аспект практически не раскрыт. Лишь в справочном приложении ГОСТа приведен национальный стандарт Германии (DIN 4150-3:1999 Воздействие вибрации на сооружения), в котором дополнительно предлагается измерять скорость в горизонтальном направлении для верхнего перекрытия сооружения.

С другой стороны, экспериментальное определение параметров основного тона собственных колебаний зданий и сооружений и их конструктивных элементов регламентировано ГОСТ 34081-2017 [3]. В соответствии с этим стандартом датчики следует размещать на несущих конструкциях верхней части здания, по возможности вблизи оси центра масс здания. В качестве источника предлагается использовать естественный динамический природно-техногенный фон города. Также допускается использование дополнительных динамических воздействий. Период основного тона собственных колебаний определяется после спектрального анализа полученных амплитудно-временных характеристик.

Также существует «Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений», используемая МЧС России [5]. Динамические испытания проводятся для определения динамических и жесткостных характеристик, несущей способности конструктивных элементов зданий и сооружений, выявления скрытых дефектов. Здесь предлагается использовать Т-образную расстановку датчиков. При этом один датчик устанавливается как можно ниже (на уровне пола подвала), остальные датчики расставляются поэтажно. Динамические испытания конструкций выполняются ударами нагружающим устройством (боксерской грушей массой 30 кг) по направлениям короткой и длинной сторон сооружения.

Цель работы

При выполнении оценки сейсмического воздействия взрывных работ на сооружения, в которых возможны резонансные эффекты, выполняется одновременная регистрация сейсмических колебаний в верхней части конструкции и на грунте вблизи основания (фундамента). Также возможен вариант одновременной регистрации в верхней части сооружения и непосредственно на его фундаменте. В случае необходимости более детального изучения резонансных эффектов и изменения амплитуды сейсмической волны, количество одновременно задействованных датчиков может быть увеличено.

В связи с тем, что есть несколько способов определения собственных (резонансных) частот инженерных сооружений, цель работы определена как *сравнение резонансных характеристик, полученных разными подходами*.

Описание эксперимента и результаты

Исследуемый объект представляет собой панельный пятиэтажный многосекционный жилой дом. Трехкомпонентные сейсмоприемники (HS-1 Geospace Technologies) устанавливались в районе средней секции дома на грунте вблизи основания, а также на площадке пятого этажа. Горизонтальные компоненты ориентировались параллельно длинной и короткой сторонам дома. Короткозамедленные взрывы проводились на известковом карьере примерно в 1,5 км от охраняемого объекта [2].

Зарегистрированные в данном сооружении взрывы (интервал № 2, 3, 4 на рис. 1) и микросейсмические шумы (интервал № 1), позволили проверить повторяемость получаемых резонансных характеристик. Как видно из представленной на рис. 1 сейсмограммы, усиление колебаний (что ожидаемо) отмечается главным образом на горизонтальных компонентах. При этом амплитуда вертикальных колебаний от взрывов на верхнем этаже незначительно уменьшается.

На рис. 2 представлены спектральные оценки для разных временных интервалов, полученные по датчику, установленному на площадке пятого этажа (в соответствии с ГОСТ 34081-2017). Полученные значения собственной (резонансной) частоты изменяются в пределах 2.8 - 3.4 Гц для компоненты, направленной вдоль, и 2.5-2.8 Гц для компоненты, направленной поперек сооружения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что традиционная спектральная оценка не всегда дает устойчивый результат. Такой разброс, возможно, связан с тем, что амплитудно-частотные характеристики, полученные из амплитудно-временных характеристик применением быстрого преобразования Фурье, отражают интегральные значения амплитуд по каждой из частот в заданном интервале исходного сигнала. Это значит, что результат будет сильно зависеть от интенсивности и продолжительности локальных источников сейсмических колебаний.

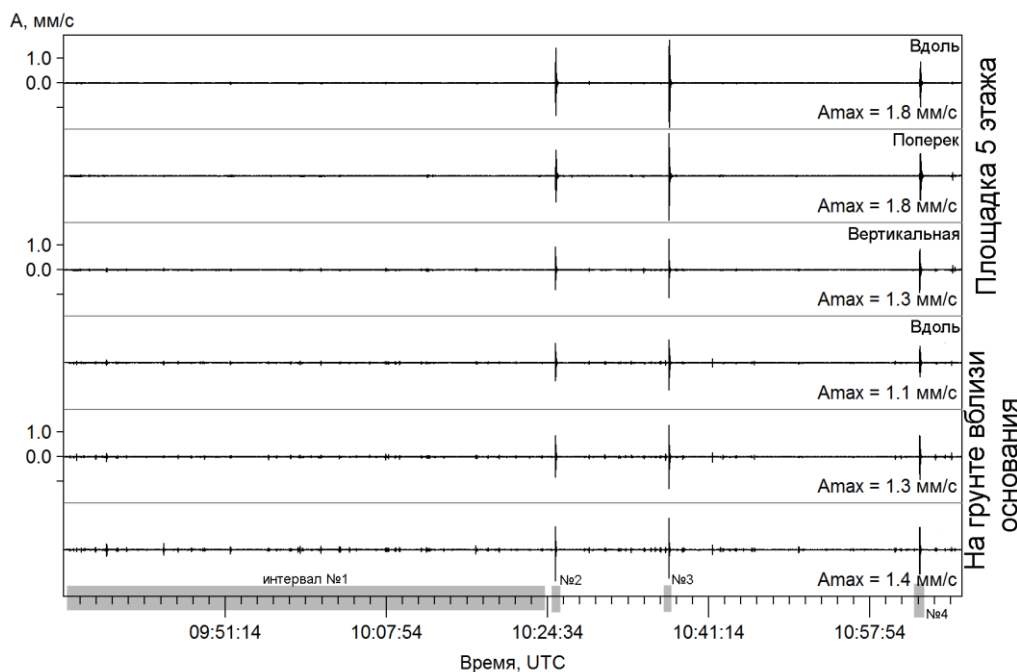


Рис. 1. Сейсмическая запись на грунте вблизи основания и на площадке пятого этажа панельного пятиэтажного многосекционного жилого дома

Предлагаемый подход и его апробация

В связи с вышеизложенным для анализа собственных частот предлагается использовать спектрограммы, показывающие зависимость спектральной плотности сигнала от времени. Кроме того, одновременная регистрация колебаний внизу наверху сооружения позволяет использовать относительные спектрограммы для оценки изменения спектрального состава колебаний при прохождении их через исследуемый объект.

Построенные для всего временного интервала относительные спектрограммы представлены на рис. 3. Собственные частоты проявляются по всей длине записи, характеризующей и микросейсмический шум, и сейсмические волны от взрывов. Для компоненты, направленной вдоль здания собственная частота данного сооружения равна 3.4 Гц, для поперечной компоненты – 2.9 Гц.

Выводы

Таким образом, для анализа собственных (резонансных) частот инженерных сооружений целесообразно использовать несколько сейсмоприемников для возможности построения относительных характеристик. Трехмерное представление спектральных характеристик позволяет исключить влияние локальных источников сейсмических колебаний на точность определения резонансных частот. Одновременная регистрация в нескольких точках инженерного сооружения позволяет оценить изменения спектрального состава колебаний при прохождении их через исследуемый объект. Также информация о возможном усилении колебаний за счет эффекта позволит точнее реализовать прогноз амплитуды сейсмического воздействия резонансов в верхних частях охраняемых объектов.

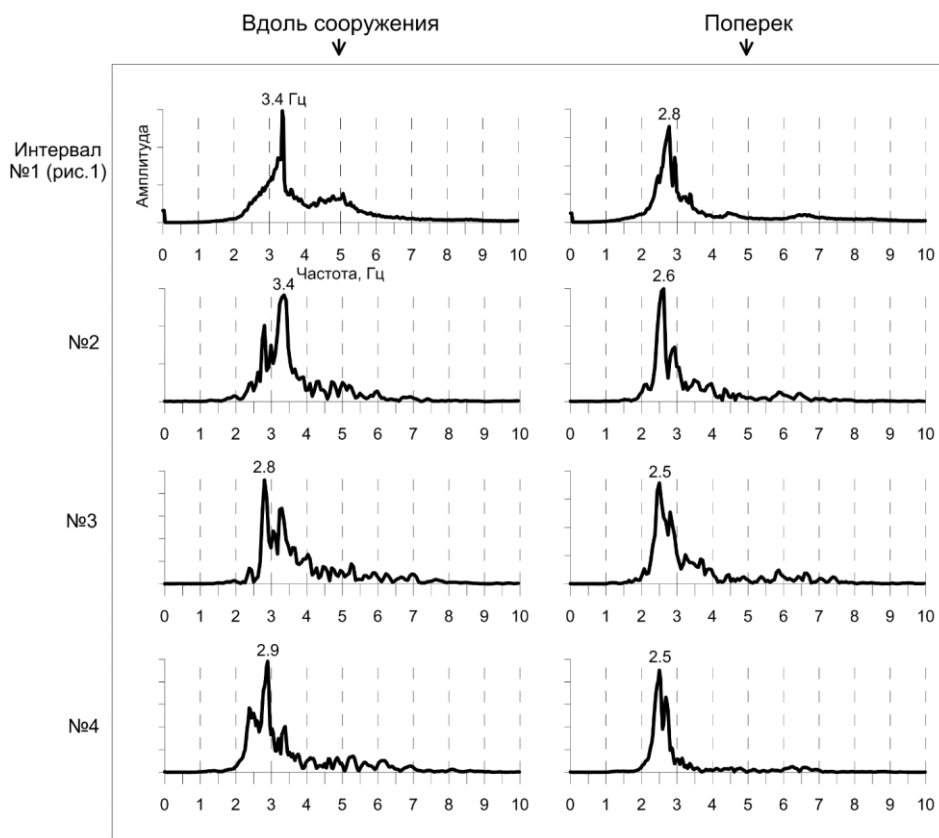


Рис. 2. Спектральные оценки для разных временных интервалов, полученные по датчику, установленному на площадке пятого этажа

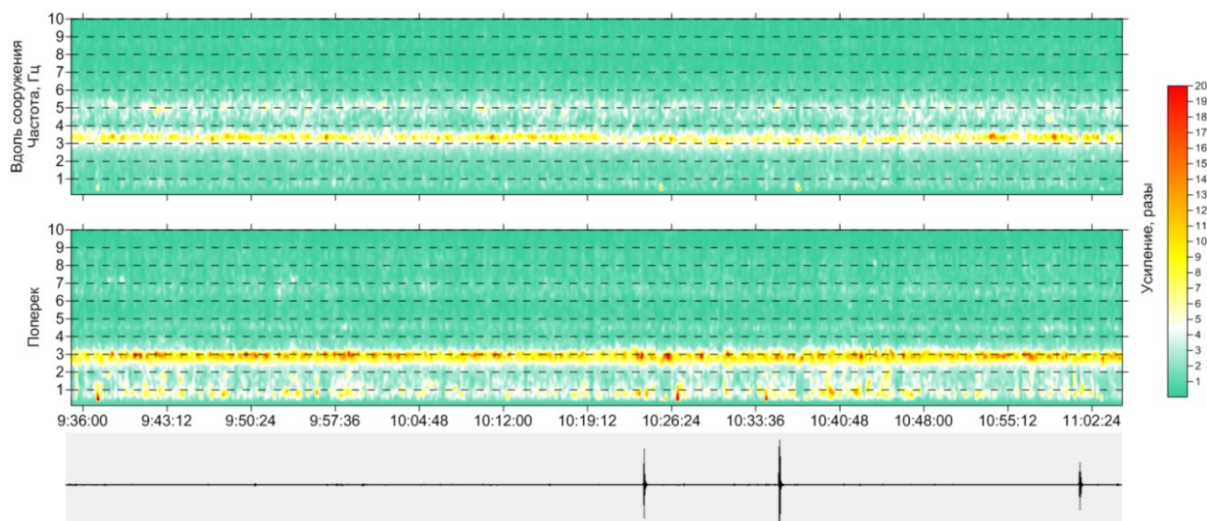


Рис. 3. Относительные спектрограммы, характеризующие усиление горизонтальных колебаний для горизонтальных колебаний

Работа выполнена в рамках хозяйственного договора с ООО «Гипс Кнауф Новомосковск».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов. – М.: Недра, 1982. – 162 с.: ил.
2. Верховланцев А.В., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Шкурко А.В. Мониторинг сейсмического воздействия взрывов на карьере «Шахтау» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 2. – С. 59-69. DOI: [10.15372/FTPRI20190207](https://doi.org/10.15372/FTPRI20190207).
3. ГОСТ 34081-2017. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний. – Дата введения 2017-11-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 19 с.
4. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – Дата введения 2008-10-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 32 с.
5. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. – М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2002. –
6. РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия: Введено в действие 1.08.1997 г. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. –
7. Сапожников А.И. Особенности колебаний зданий и сооружений при динамических воздействиях различной природы // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2015. – № 1 (192). – С. 27-32.
8. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». – М.: Норматика, 2016. – 172 с.

УДК 550.83.016

DOI:10.7242/echo.2020.2.10

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТОДЕ ИСТОКООБРАЗНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ГЕОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

А.С. Долгаль

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Приводятся результаты вычислительных экспериментов по аппроксимации гравитационного поля системами разноглубинных эквивалентных источников. Даны характеристики двух наборов матриц коэффициентов систем линейных алгебраических уравнений, использующихся для определения значений аппроксимирующих масс. Один набор отвечает горному рельефу местности, второй – горизон-