

6. ГЕОФИЗИКА И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕМИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Айрапетян О.Ю.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, Гюмри
email: hhmy39@gmail.com

***Аннотация.** Данная статья посвящена вопросу определения динамических характеристик зданий и грунтов их оснований с помощью специально разработанных в ИГИС сейсмических приборов. Изучены микроколебания семиэтажного жилого каркасного здания натурными испытаниями. Был выполнен спектральный анализ по полученным экспериментальным данным инструментальной записи. Изучены динамические особенности поведения здания. Наблюдения для исследуемого здания показали, что колебания как здания, так и башни происходят с одинаковой частотой.*

***Ключевые слова:** натурные испытания зданий, микросейсмические воздействия, спектральный анализ, динамические характеристики.*

Введение

Значительные работы по изучению поведения зданий и сооружений натурными испытаниями от нескольких видов сейсмических воздействий (сейсмозрывных колебаний, промышленных вибраций, колебаний от ветра, микросейсм и др.) проведены Б.К. Карапетяном, Э.Е. Хачияном, И.Л. Корчинским, Е.И. Бакрадзе, Г.А. Шапиро, Дж.В. Хаузнером, Д.Е. Гудзоном, И. Алфордом и другими учёными [1–3, 6, 9]. Экспериментальное определение периода свободных колебаний и логарифмического декремента затухания сооружений необходимо не только с точки зрения получения данных для расчёта и проектирования, но и с целью осуществления их паспортизации. В результате последнего становится возможным рассматривать появившиеся при землетрясении повреждения в зданиях и сооружениях одновременно, учитывая их динамические характеристики. Микросейсмы среднечастотного диапазона на 0.5–20 Гц представляют собой достаточно сложный композит из волн разной природы и различного происхождения. Одним из важнейших преимуществ микросейсмических исследований является то обстоятельство, что количество микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, чрезвычайно велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большую информацию для анализа. Эта информация позволяет решать ряд важных задач научного и практического характера.

Методы исследований

Разработанная Б.К. Карапетяном методика изучения поведения сооружений при сейсмических воздействиях осуществляется одновременно измерениями основными приборами для записи скоростей и ускорений в здании и на грунте: тензометрическими датчиками для измерения деформаций в здании и многоятниковыми сейсмометрами для записи приведённых сейсмических ускорений в здании и на грунте. В результате создаётся возможность, кроме изучения поведения сооружения при колебаниях, также исследовать взаимодействие между фундаментом сооружения и его основанием [2, 3].

По величинам полученных частот колебаний от вышесказанных экспериментов, имея также размеры в плане, Б.К. Карапетяном было предложено представить величину периода колебаний в зависимости от наименьшего размера здания b , высоты H и некоторого коэффициента – k ,

который в основном зависит от грунта в основании здания, а также от вида несущих конструкций. Эта формула выглядит следующим образом:

$$T_1 = k \frac{H}{\sqrt{b}}$$

Например, для зданий с несущими каменными стенами системы «МИДИС», величины коэффициента k для различных грунтов основания получились следующих значений: в случае базальтов $k = 0.050$; сцементированных галечников – 0.055 ; туфов – 0.060 ; коренных глин – 0.065 ; суглинисто-супесчаных грунтов – 0.075 . Как не трудно заметить, полученные значения коэффициентов вполне закономерны, а именно: чем жёстче грунт, тем большая получается частота колебаний здания [2]. С помощью методики экспериментального изучения динамических характеристик зданий Э. Е. Хачияна были определены периоды и формы колебаний ряда зданий повышенной этажности, различных конструктивных схем в городе Ереване (совместно с В.А. Закаряном). В этих экспериментах динамические характеристики зданий определялись как путём измерения малых колебаний зданий, вызванных микросейсмическими воздействиями, так и путём их испытания при помощи специальной вибромашины. Источниками возбуждения колебаний являлись естественные микросейсмические работы тяжёлых строительных машин, пульсация ветра, падение тяжёлого груза, небольшие взрывы, удары по зданию и др. [9]. Замеры периодов колебаний – как голых каркасов-этажерок, так и зданий по мере возведения этажей показали, что их периоды увеличиваются по линейному закону в зависимости от числа возведённых этажей. Заполнения из пемзоблочной кладки уменьшают значения периода основной формы колебаний в среднем на 30%. Так как заполнение увеличивает жёсткость этажа, то формула определения периода r -ой формы свободных колебаний будет следующей:

$$T_r = (A_r + nB_r) \sqrt{\frac{m}{\varphi a}}$$

где A_r и B_r – постоянные, которые определяются от формы колебания, n – число этажей, m – сосредоточенная масса, a – жёсткость, φ – безразмерный обобщённый коэффициент, учитывающий влияние заполнения на жёсткость этажа, можно принимать в пределах $\varphi = 1.6 \div 1.8$ [9].

Наша методика изучения поведения зданий осуществляется измерениями, проводимыми с помощью мобильной сейсмостанции, состоящей из трёх приёмников-сейсмодатчиков СМ-3 (два горизонтальных (H) – N-S, E-W, один вертикальный компонент (V) - Z), общий блок преобразования, управления и регистрации производства ИГИС НАН РА, оснащённый беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком. С помощью этого блока (логгер) можно следить за записями онлайн, которые представляются на мониторе ноутбука с помощью специально обработанной программы. Частота записи – 200 отсчётов в секунду. Было проведено исследование над одним из жилых зданий, построенным по индивидуальному проекту. В здании замерялись возникающие в нём колебания от микросейсм [4]. Преимущества этого способа заключаются в том, что он исключительно прост и поэтому может быть использован для массовых испытаний даже в период эксплуатации сооружения. Полученные характеристики первой формы колебаний, которая является наиболее важной для оценки сейсмических нагрузок, при этом способе натуральных испытаний оказываются достаточно надёжными, что также способствует его широкому применению. Этот способ является наиболее технологичным и экономичным. С помощью микросейсм можно решить проблему диагностики зданий и сооружений.

Информация о здании

Здание было построено в 1965 году, оно расположено рядом с мостом Киевян по адресу Киевян, 2. Здание с антисейсмическим швом разделено от соседних зданий, которые находятся на улице Киевян (рис. 1). Грунтами основания здания служат базальты. Здание представляет собой семиэтажное железобетонное каркасное здание с каменными наружными стенами и размерами в плане 19.5×12.3 м, высота 26.5 м. Имеет восьмигранную в плане башню размером 5.2 м, высотой 8 м. План испытаний здания и разрез приведены на рис. 2.а и 2б. Имеется один подъезд, высота этажа – 3.5 м.



Рис. 1. Общий вид здания

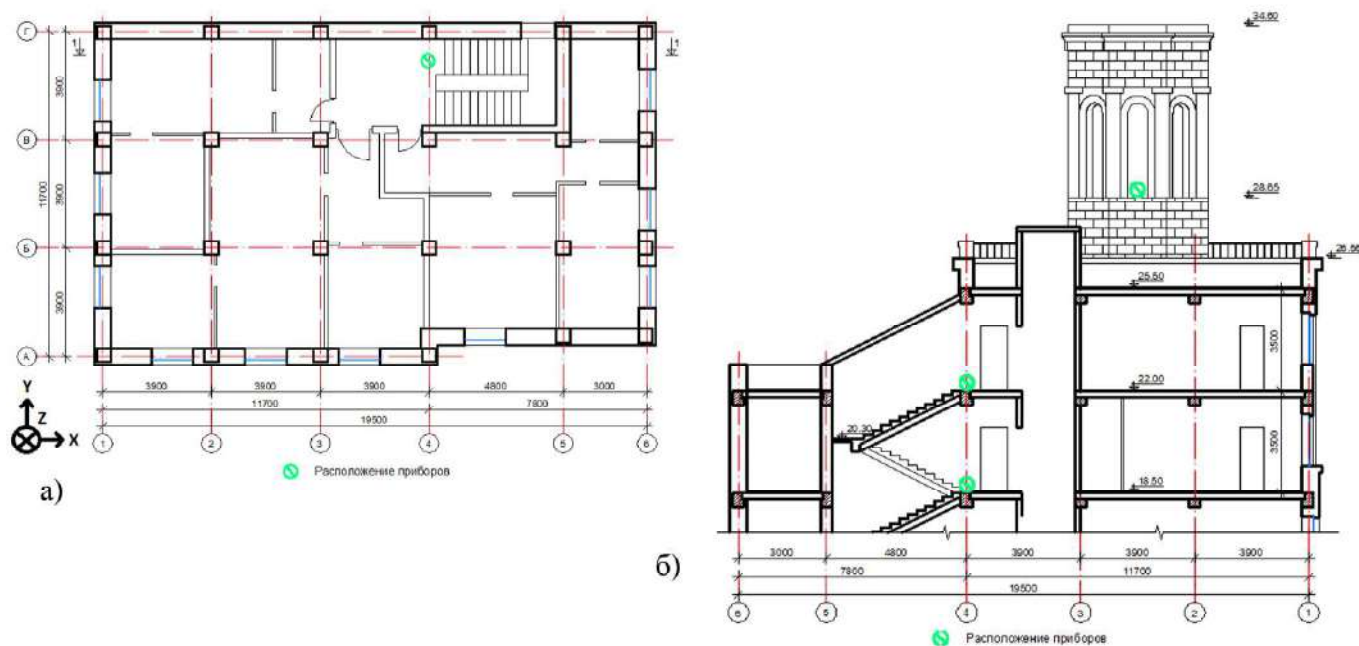


Рис. 2. Схематический план здания и 1-1 разрез верхней части здания

При таких измерениях необходимо избегать влияния движения транспортных средств и других постоянных источников генерации колебаний грунтов и зданий. Поэтому измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунта и зданий были вызваны только естественными микросейсмами.

Результаты и их обсуждение

На каждом этаже здания определялись периоды колебаний здания, а также и для грунтов основания как в поперечном T_x , так и в продольном T_y и вертикальном T_z направлениях. На рис. 3 приведены записи микроколебаний здания на каждом этаже и на грунте оснований по горизонтальному направлению X.

Использование микросейсм для решения геологических и строительных задач открывает большие возможности. Изучение микроколебаний даёт огромный материал для анализа.

Главным преимуществом является возможность за короткое время получить богатую и достоверную информацию для анализа. Был выполнен спектральный анализ по полученным экспериментальным данным инструментальной записи.

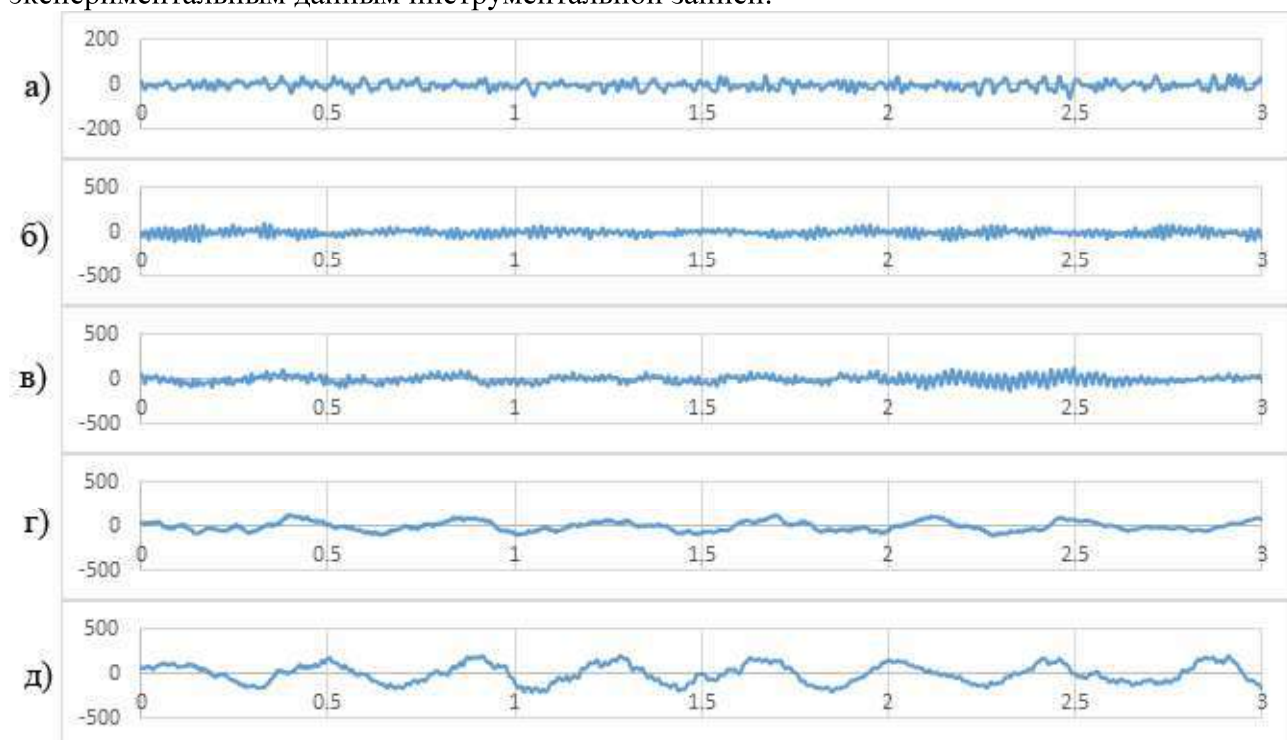


Рис. 3. Пример записей микроколебаний зданий X компонента, где а – запись колебания на грунте, б – на уровне пола 1-го этажа, в – 4 этажа, г – 7 этажа и д – башни.

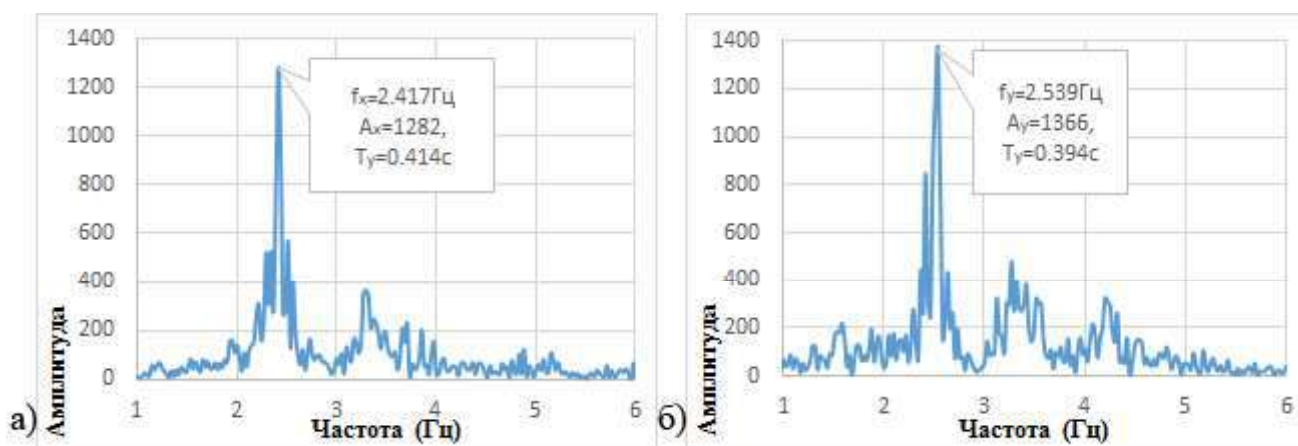


Рис. 4. Амплитудные частотные спектры в направлении X и Y, полученные для здания на 6-ом этаже.

Экспериментально были определены динамические характеристики здания и грунтов оснований. Экспериментальные значения, а также амплитуды колебаний здания в обоих перпендикулярных, горизонтальных направлениях и в вертикальном направлении приведены в таблице. Полученные экспериментальным путём инструментальные материалы могут послужить исходными данными для проверки и уточнения методов расчёта и проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах. Подобные данные также позволяют оценить фактическую несущую способность зданий и сооружений при сейсмических воздействиях.

Наблюдения для исследуемого здания показали, что колебания – как здания, так и башни – происходят с одинаковой частотой, в направлении X в среднем равной 2.41 Гц, а в направлении Y – 2.53 Гц. Отсюда можно заключить, что башня и здание колеблются

как одна система. Колебания грунта происходили с частотой 13.7–16.7 Гц, что характерно для базальтовых грунтов и значительно отличается от преобладающей частоты собственных колебаний зданий.

Таблица

Экспериментальные значения колебаний здания в перпендикулярных, горизонтальном и в вертикальном направлениях

Компон	X			Y			Z		
	1-ая секция								
Этаж	Част. (Гц)	Амплит	Пер. (сек)	Част. (Гц)	Амплит	Пер. (сек)	Част. (Гц)	Амплит	Пер. (сек)
грунт	16.701	138.38	0.060	13.722	76.61	0.073	9.767	141.48	0.102
1	2.442	226.23	0.410	2.515	62.16	0.400	7.569	93.75	0.132
2	2.393	225.2	0.418	2.515	213.14	0.398	9.816	128.02	0.102
3	2.417	774.715	0.414	2.515	470.59	0.398	7.423	111.08	0.135
4	2.417	847.37	0.414	2.564	420.13	0.390	9.767	281.63	0.102
5	2.393	809.04	0.418	2.539	1365	0.394	9.816	259.31	0.102
6	2.417	1282	0.414	2.539	1366	0.394	10.231	218.46	0.098
7	2.393	1432	0.418	2.539	1624	0.394	7.667	343.03	0.130
башня	2.393	4145	0.418	2.54	3632	0.394	7.521	618.6	0.133
среднее	2.408		0.415	2.533		0.395			

Список литературы

1. *Бакрадзе Е.И.* Экспериментальное определение параметров колебаний ряда жилых зданий // Труды Института строительного дела АН Грузинской ССР, Т. VII, 1959.
2. *Карапетян Б.К.* Колебание сооружений возведенных в Армении. Ереван: Айастан, 1967. 170с.
3. *Карапетян Б.К.* Многомаятниковые сейсмометры и результаты их применения в инженерной сейсмологии. Ереван: Айпетрат, 1963. 175с.
4. *Карапетян Дж. К., Мхитарян Д.А., Айрапетян О.Ю.* Инструментальное обследование зданий и сооружений в натуральных условиях и оценка их технического состояния. Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований, ГФИ ВНЦ РАН, Владикавказ, 2017. С.442–452.
5. *Карапетян Н.К.* Спектры сейсмических колебаний на территории Армении. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1973. 268с.
6. *Корчинский И.Л.* Колебания высотных зданий. Научное сообщение. Вып. 11, М., 1953, 44 с.
7. *Мхитарян Д.А., Айвазян Г.С.* Исследование поведения железобетонных изгибаемых элементов на моделях при циклических нагрузках // Бюллетень по инженерной сейсмологии, №12, 1988. С.123–129.
8. *Мхитарян Д.А.* Анализ поведения железобетонных несущих конструкций при сейсмическом воздействии. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М., №1, 2008. С. 19–22.
9. *Хачиян Э.Е.* Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван, 1973. 327с.