

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ И ОЦЕНКА ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Карапетян Дж. К., к.геол.н., Мхитарян Д. А., Айрапетян О. Ю.

ИГИС НАН РА, Гюмри, Армения

В Республике до 60-ых годов сейсмостойкое строительство, в основном, осуществлялось посредством строительства зданий с несущими каменными стенами системы «мидис», а также зданий с включенными железобетонными элементами, связываемыми с кладкой и антисейсмическими поясами. В 1985-1990 гг. в городах Республики началось строительство зданий повышенной этажности, возводимых индустриальными методами. Строительство, в основном, осуществлялось по типовым проектам (до 90%), что, помимо других положительных факторов, приводит к повышению сейсмостойкости зданий.

Здание типового пятиэтажного проекта 1А-450 (рис. 1-3) получило широкое распространение в строительстве Республики. Здание имеет конструктивную схему с поперечными и продольными несущими стенами каменной конструкции. Эти здания предназначены для строительства на участках с сейсмичностью 7 и 8 баллов. В нём предусмотрены антисейсмические пояса, железобетонные колонны (сердечники) и арматурные сетки для усиления кладки, которые путём взаимной связки обеспечивают пространственную работу здания в целом.

Здание было построено в 1963 году, по индивидуальному проекту. Оно расположено на углу улиц Арташесян (бывш. Церетели) и Баграгуняц (бывш. Таманцинери) по адресу Арташесян, 43 и представляет собой пятиэтажный каменный жилой дом с подвальным этажом. Здание с сейсмическим швом отделяется от со-



Рис. 1. Общий вид здания

седнего строения, которое имеет перпендикулярное расположение к исследуемому объекту и расположено вдоль улицы Багратуныц. Объемно-планировочные и конструктивные решения здания следующие: здание с размерами 14×51 м имеет прямоугольную форму – с балконами на двух фасадах со стороны улиц, со стороны входа во двор имеет глухой фасад, а со стороны двора – лоджии, которые переделаны в закрытые помещения. Высота здания – 17,80 м: с пятью жилыми этажами и чердаком, имеет подвал, высота этажей – 3 м. Здание имеет 3 подъезда, однако

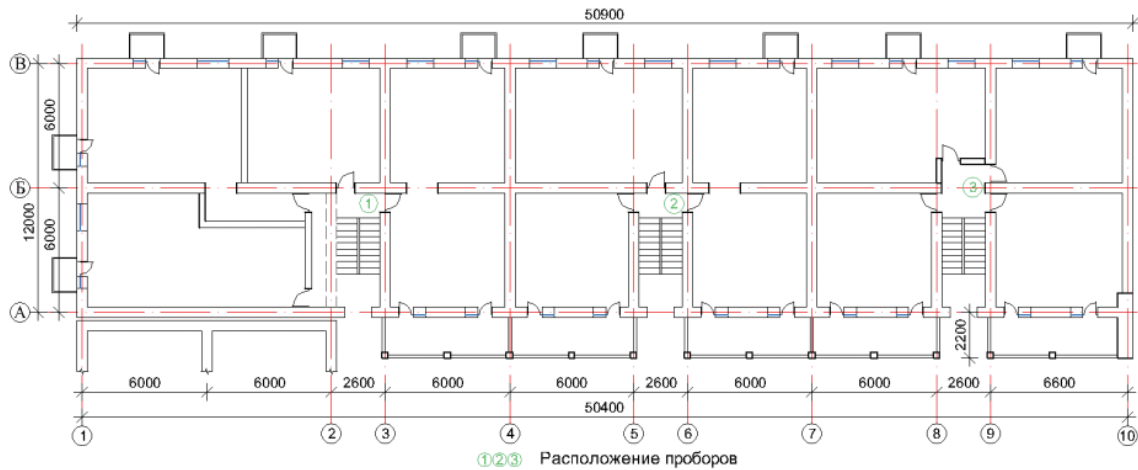


Рис. 2. Схематический план здания

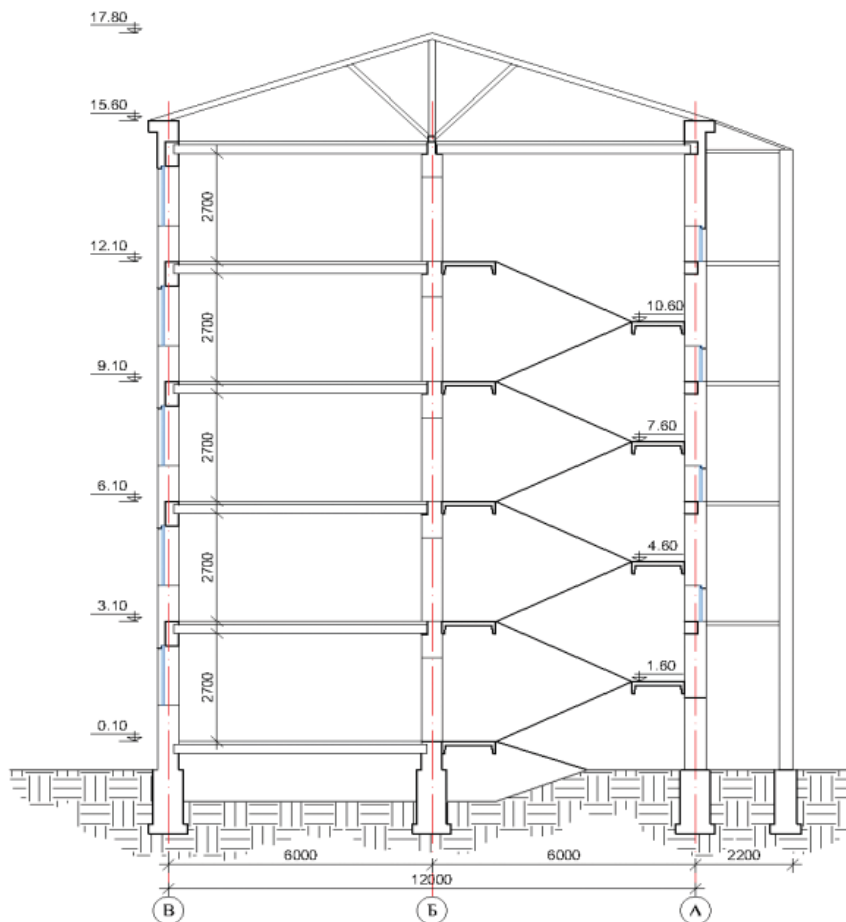


Рис. 3. Схематический разрез здания

каждый из них не идентичен с другими планировочными решениями. Имеет 55 квартир, из которых 20 находятся в первой секции, 15 – во второй, а остальные 20 – в третьей. На каждом этаже находятся: в первой секции 4 квартиры, во второй – 3, а в третьей – 4.

Несущая конструктивная система здания состоит из каменных стен на основе ленточного бутобетонного фундамента, междуэтажные перекрытия – из пустотелых балок-настилов. Этажи здания соединены друг с другом двухмаршевой внутренней лестницей, которая выполнена из сборных железобетонных элементов. Внутренние перегородочные стены сделаны из кладки пустотелых шлакобетонных блоков. Крыша четырехскатная, с деревянной стропильной системой, кровельным перекрытием и организованной внешней водосточной системой. Грунтами основания под фундаментами здания служат галечники. Экспериментально были определены динамические характеристики здания, грунтов оснований и их соотношение, при этом одним из наиболее важных факторов в оценке безопасности и надежности эксплуатации здания является соотношение между первой формой свободных колебаний надземного сооружения и преобладающих периодов колебания грунтового слоя его основания. Измерения проводились с помощью мобильной сейсмостанции, состоящей из трех приемников – сейсмодатчиков СМ-3 (два горизонтальных (H) – N-S, E-W, один вертикальный компонент (V) – Z), общего блока преобразования, управления и регистрации производства ИГИС НАН РА, оснащенной беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком (рис. 4). С помощью этого блока (логгера) можно следить за записями онлайн, которые представляются на мониторе ноутбука с помощью специально обработанной программы. Частота записи – 200 отсчетов в секунду.

В отдельных участках здания и за её пределами на окружающей территории были проведены инструментальные наблюдения, измерения и регистрация микросейсм для изучения динамических характеристик сооружения и грунтов его основания (форма колебаний здания, период колебаний грунта и т. д.). Был выполнен спектральный анализ по полученным данным инструментальной записи.

Так как строительство зданий и сооружений в сейсмоактивных районах ведётся с учётом воздействия сейсмических сил, величина которых зависит как от спектрального состава и характера сейсмических колебаний грунта в основании сооружения, так и от динамических характеристик (периода собственных колебаний, декремента затуханий, форм колебаний и т. п.) самого сооружения. Экспериментальные значения, а так же амплитуды и декременты затухания колебаний зда-



Рис. 4. Размещение измерительных приборов

ния в обоих перпендикулярных горизонтальных и в вертикальном направлениях приведены в таблице 1.

Динамические характеристики зданий обусловлены конструктивным решением, конфигурацией, этажностью, характером распределения масс и жёсткостей, жёсткостью перекрытий, степенью монолитности каркаса, видом заполнения и другими особенностями строения. Наряду с этим, любые изменения, связанные с указанными особенностями, прямо или косвенно сказываются на значениях динамических характеристик. Поскольку в общем вопросе изучения сейсмостойкости сооружений огромную роль играют динамические характеристики, поэтому и сейсмостойкость сооружений и затраты на их антисейсмические мероприятия обусловлены, в первую очередь, их динамическими характеристиками. Так как сейсмическое воздействие на здания и сооружения является одной из основных проблем инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений, следовательно, на проблему изучения поведения зданий и сооружений, при воздействии на них сейсмических сил различного характера: интенсивности, спектрального состава, уделяется должное внимание. Отметим также, что интенсивность сейсмического воздействия на сооружения зависит от соотношения упругих свойств среды, от особенностей самого воздействия и динамических свойств строения (период его

Таблица 1.

Значение преобладающих периодов амплитуд и декрементов колебаний здания в направлениях X, Y, Z

1-подъезд									
Этаж	X			Y			Z		
	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент
1	91.8	0.31	0.116	116.22	0.288	0.119	50.21	0.09	0.009
2	230.49	0.308	0.059	224.88	0.286	0.034	65.42	0.089	0.019
3	406.28	0.308	0.068	499.16	0.282	0.033	98.07	0.09	0.011
4	543.29	0.31	0.069	544.89	0.282	0.067	101.06	0.093	0.012
5	1104	0.308	0.036	746.83	0.284	0.065	129.43	0.093	0.015
2-подъезд									
Этаж	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент
	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент
1	147.93	0.269	0.065	184.33	0.286	0.03	212.68	0.436	0.049
2	221.6	0.269	0.061	238.9	0.288	0.07	92.29	0.087	0.009
3	405.24	0.271	0.047	512.8	0.284	0.061	153.37	0.091	0.011
4	634.73	0.269	0.043	840.7	0.284	0.049	167.213	0.088	0.01
5	1103	0.271	0.043	1380	0.29	0.029	255.84	0.088	0.021
3-подъезд									
Этаж	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент
	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент	Амплитуда	Период (сек)	Декремент
грунт	117.71	0.051	0.004	107.07	0.056	0.012	80.24	0.059	0.022
1	118.22	0.273	0.34	180.2	0.286	0.59	212.68	0.436	0.049
2	529.57	0.269	0.063	423.44	0.286	0.035	147.06	0.088	0.019
3	1091	0.271	0.062	480.15	0.284	0.046	174.22	0.088	0.041
4	1389	0.271	0.103	583.54	0.288	0.12	196.26	0.087	0.01
5	1907	0.275	0.107	1359	0.284	0.113	254.36	0.084	0.009

собственных колебаний, плотностей и сейсмических жёсткостей). Опыт разрушительных землетрясений показал, что поведение зданий различных типов – каменных, каркасных, крупнопанельных и др., – при землетрясении было различным, что позволяет оценить влияние разнообразных конструктивных систем на сейсмостойкость сооружений.

Так как сейсмостойкость массовых типов зданий и сооружений обеспечивается двумя группами факторов, первая из которых включает свойства конструктивной системы, а вторая – расчётные и конструктивные мероприятия, предусматриваемые в процессе проектирования, то здания разных конструктивных систем, запроектированные на одинаковые сейсмические воздействия, по-разному реагируют на землетрясение расчётной интенсивности. Причём, факторы обеих групп взаимосвязаны и оказывают определённое влияние друг на друга. Поэтому сейсмическое воздействие на сооружение характеризуется рядом особенностей, относящихся к колебаниям грунта, сооружения и к условиям их совместного движения [3-5, 7, 12, 13].

Анализ проведённых работ в области экспериментальных и теоретических исследований колебаний зданий и сооружений при нагрузках типа сейсмических, указал на необходимость проведения исследований поведения зданий и сооружений в натуральных условиях при реальных сейсмических воздействиях с учётом влияния геологической и сейсмической обстановки района, так как при таких исследованиях станет возможным выявить действительную картину работы зданий и грунтов их оснований [3-6, 7, 11-13].

При этом следует учитывать в первую очередь, конструктивные особенности, степень антисейсмических мероприятий, качество строительства, характер воздействия, грунтовые особенности. Однако, при сейсмических воздействиях поведение различных систем зданий и сооружений различны и обусловлены реальным поведением их несущих элементов, т. е. от конструктивных решений, а также от качества применяемых строительных материалов. Кроме того, анализ результатов последствий землетрясений показал, что, в зависимости от грунтовых условий и конструктивного решения сооружения, их повреждения обусловлены или осадками, наклонами и опрокидыванием, или образованием трещин во всем объеме здания и сооружения. Эти обстоятельства нашли отражение в национальных нормах, как в виде количественных коэффициентов, так и в виде принципов проектирования [10].

Следует отметить, что главную роль в передаче энергии сейсмических волн сооружению, играет верхний поверхностный слой грунта, на который опирается фундамент, то есть грунтовые условия оказывают существенное влияние на сейсмостойкость зданий и сооружений [3-5, 9, 10].

Следовательно, при изучении вопросов сейсмостойкости огромную роль играют динамические характеристики. Наряду с этим, сейсмостойкость сооружений и затраты на антисейсмические мероприятия обусловлены, в первую очередь, их динамическими характеристиками. Достоверные данные о динамических характеристиках дают возможность уточнить расчётные схемы сооружений, а в ряде случаев могут служить основанием при выборе благоприятных грунтовых площадок и территорий для возведения зданий. Помимо указанных прямых назначений, динамические характеристики широко используются не только для оценки реального состояния зданий и сооружений, но также дают возможность выявить степень повреждения и судить о качестве восстановительных работ, путем сравнения периодов целого, поврежденного и восстановленного здания [3, 7, 12, 13].

Регистрация сейсмических колебаний зданий и сооружений, а также прилегающих к ним участков грунта при сильных землетрясениях может послужить исходными данными для проверки и уточнения методов расчета и проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах. С помощью этих данных станет возможным оценить фактическую несущую способность зданий и сооружений при сейсмических воздействиях [3, 8, 11-13]. Так как для обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений при различных конструктивных системах, необходимо выявить некоторую закономерность в характере их деформирования. Практика показывает, что в связи с оценкой интенсивности землетрясений, здания одновременно являются как бы и приборами, и объектами исследования, когда по показаниям приборов можно было бы дать оценку интенсивности землетрясения, а повреждения в зданиях рассматриваются как воздействия этих сил на конкретные конструкции [3, 9]. Следовательно, для правильного представления работы конструкций при сейсмических колебаниях, а также для рационального проектирования решающее значение приобретает правильный учёт реальных динамических свойств материалов и конструкций. Поэтому типовые здания различных конструктивных систем, запроектированные на одинаковые сейсмические воздействия, по-разному реагируют на землетрясения одинаковой расчётной интенсивности.

Кроме того, сейсмостойкие здания должны иметь определенное соотношение между прочностью и жёсткостью несущих элементов и работать как единое целое. Практика показывает, что конструкция, работающая в упругопластической стадии, обладает определенным запасом несущей способности. Как было показано при работе конструкций в упругопластической стадии, влияние отдельных перегрузочных пиков ускорений является значительно менее опасным, чем в абсолютно упругих.

Сейсмические нагрузки, действующие на здания и сооружения, зависят от многих факторов. Из них существенными являются: грунтовые условия основания, пространственный характер и нелинейность деформирования зданий и сооружений. Практика показывает, что в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения 1988 г. и особенно в районе Ленинакана сейсмические колебания имели некоторые динамические особенности, которыми, по-видимому, объясняется неожиданно большой объём разрушений и их своеобразный характер. Эти особенности авторы [11] попытались выявить на основе анализа инструментальных и макросейсмических данных, полученных по более слабым землетрясениям.

Приведённые данные показывают, что усиление сейсмических колебаний и увеличение их длительности обусловлено, в первую очередь, геологическим строением мощной полукилометровой, сильно расчлененной осадочной толщи, а не свойствами грунтов первых 15-20 метров или уровнем грунтовых вод [11].

Следовательно, при оценках столь тяжелых последствий Спитакского землетрясения учёт множества факторов, оказавших влияние на поведение зданий: характеристики воздействия, качество проектирования и строительства, основные конструктивные решения зданий и сооружений, оказавшихся в зоне действия землетрясения, состояние грунтов оснований, расположение конкретных объектов к направлению сейсмических колебаний, стал необходим. В пораженной землетрясением зоне оказались здания различных конструктивных решений и функционального назначения. Однако, во всех городах и населённых пунктах имелись здания типовых решений, разработанные проектными институтами республики. Наиболее распространёнными были каменные здания серии 1А-450 и малоэтажные каменные здания, построенные по индивидуальным проектам.

В результате анализа последствий сильных и разрушительных землетрясений установлено, что важным принципом сейсмостойкости является обеспечение монолитности и однородности конструкций с максимально возможным укреплением сборных элементов и расположением их стыков вне зоны максимальных усилий.

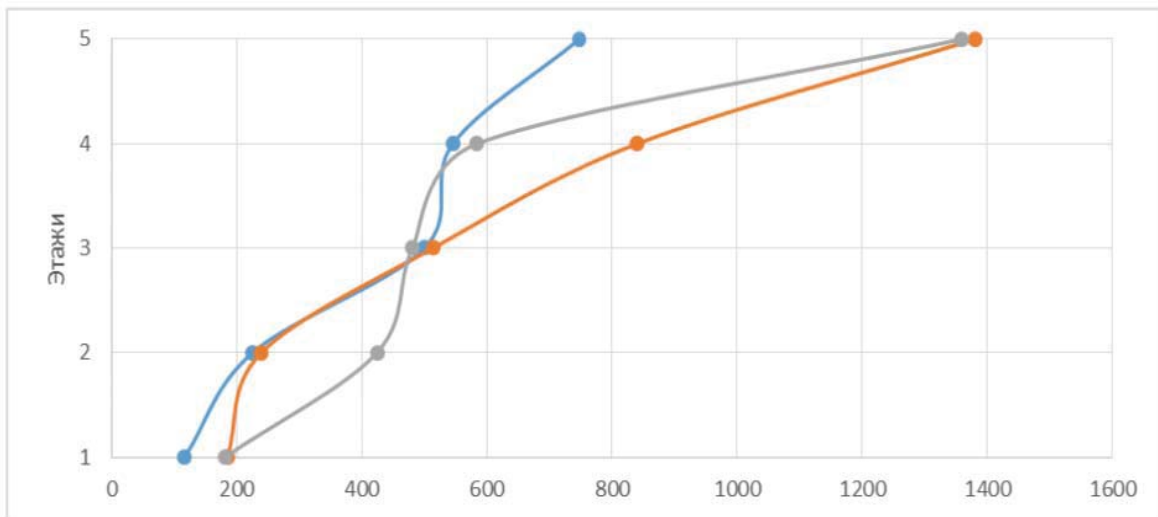
С помощью полученных экспериментальных данных по взаимодействию зданий между собой и с грунтами их оснований установлен ряд закономерностей, при этом ускорение колебаний основания со зданием получается меньше, чем ускорение колебаний грунтового основания без здания, наряду с этим, большую роль играет вид расположения здания относительно направления колебаний [3-5].

Проведённые работы большого объёма экспериментальных и теоретических исследований колебаний зданий и сооружений указывают на необходимость расширения области инструментальных исследований зданий и сооружений в натуральных условиях при реальных сейсмических воздействиях. При таких исследованиях крайне необходимо внедрять действительную картину колебаний зданий и грунтов их оснований. Многочисленные экспериментальные работы, проведённые в лабораторных и натуральных условиях, свидетельствуют о том, что декремент колебаний зависит от уровня напряжённого состояния. При этом отношение между декрементом затухания и коэффициентами поглощения больше в 3-6 раз. Кроме того, факторы вертикального обжатия и динамического воздействия в отдельности мало влияют на величины периодов колебаний зданий. Однако эти факторы представляют объективную реальность и совместный учёт, в особенности при системах с несущими стенами, ощутимо влияют на жёсткостные характеристики элементов несущих конструкций и способствуют более точному распределению сейсмических сил между этими элементами [3, 4, 7, 8].

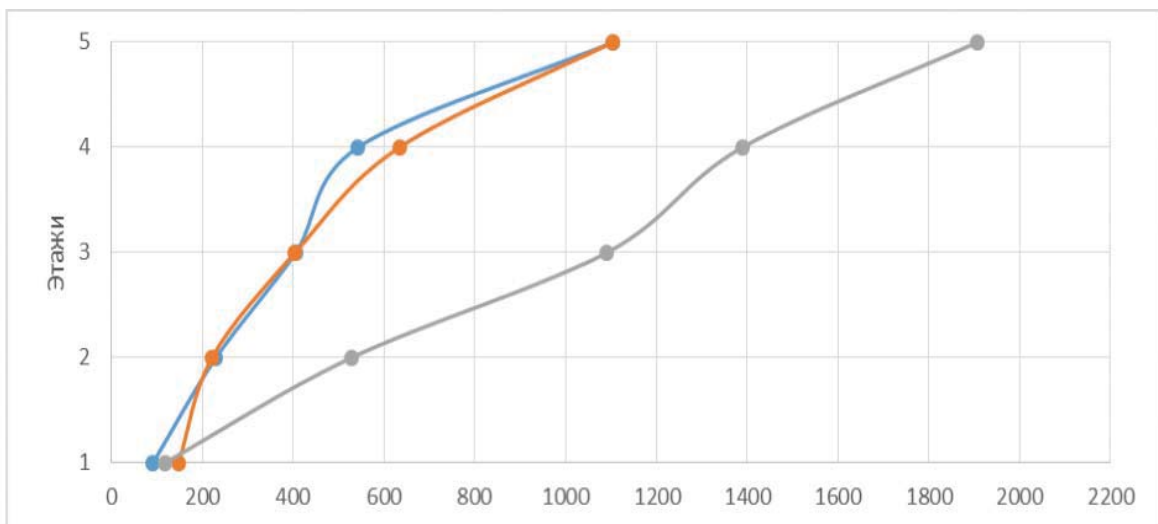
Следует отметить, что в настоящее время развиваются методы научных исследований в области сейсмостойкого строительства, способствующие получению инструментальной информации о колебаниях зданий и сооружений, возведённых в природе, а также прилегающих к ним участков грунтов при микросейсмических колебаниях, с помощью специально разработанных регистрирующих приборов (рис. 4).

Экспериментальным путем полученные инструментальные материалы могут послужить исходными данными для проверки и уточнения методов расчёта и проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах. Эти данные также позволяют оценить фактическую несущую способность сооружений при сейсмических воздействиях [3, 13]. При этом, экспериментально можно установить взаимосвязь между уровнем напряженно-деформированного состояния и величиной периода собственных колебаний конструкций. На типовых зданиях было установлено, что по мере накопления повреждений периоды собственных колебаний несущих конструкций увеличиваются [3], следовательно, экспериментальные результаты испытаний, проведённых в натуральных условиях возведённых зданий и сооружений типовых объектов, дают возможность не только оценивать реальное воздействие сейсмических сил, но и динамические характеристики, и реальное состояние сооружения.

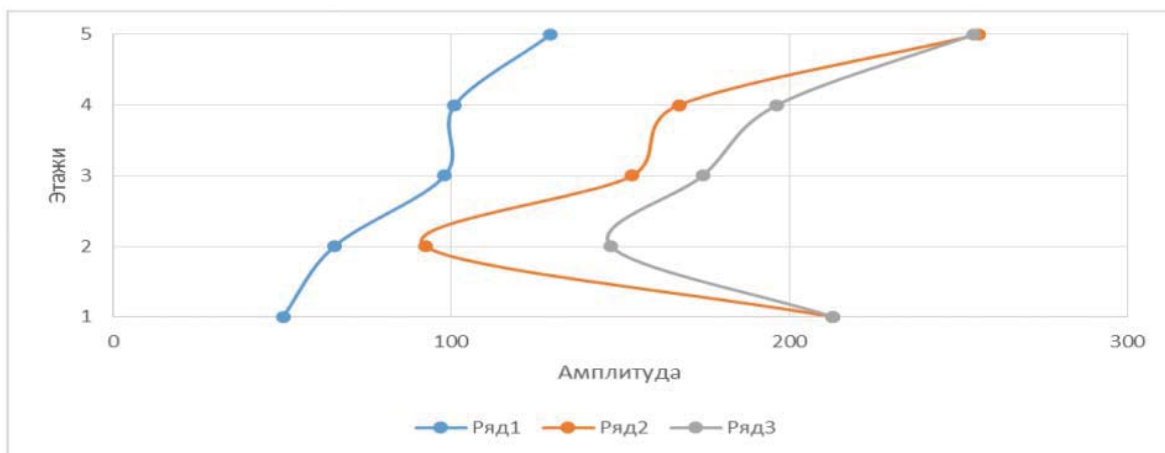
При этом, кроме определения периодов свободных колебаний и декрементов затухания рассмотренных зданий, представляют интерес так же ряд других, не менее важных вопросов для сейсмостойкости зданий и сооружений, как взаимодействие между фундаментом сооружения и его основанием (грунтом), распределение сейсмических ускорений по высоте, определение относительных подвижек в наиболее ответственных узлах и соединениях и др. [3-7].



1



2



3

Рис. 5. Значение амплитуд по этажам X, Y и Z направлениям, где ряд 1-1-й подъезд, 2-2-й подъезд, 3-3-й подъезд

Изучение колебаний зданий и сооружений экспериментальным путем на моделях и в натуральных условиях, при динамических воздействиях и при реальных землетрясениях, проведено многими исследователями [3-5, 12-13]. Отметим, что среди современных методов изучения сейсмических явлений спектральный анализ колебаний почвы занимает одно из ведущих мест, поскольку знание спектрального состава колебаний почвы необходимо как при изучении землетрясений, так и для оценки поведения зданий и сооружений, которые по-разному реагируют на землетрясения, имеющие различный спектр [2, 3, 9, 13].

Практика показывает, что сейсмостойкость зданий обеспечивается конструкциями, воспринимающими горизонтальные нагрузки, которые должны отвечать следующим требованиям: непрерывность передачи сил от точек приложения к точкам опирания, податливость, монолитность. При этом сейсмостойкие здания должны иметь определенное отношение между прочностью и жесткостью несущих элементов, работать как единое целое при движении грунта, быть изолированным от соседних зданий [4, 5, 10, 13].

Так как сейсмические нагрузки, действующие на здания и сооружения, существенно зависят от типа и характера грунтов оснований, то реакция сооружений зависит от их динамических характеристик, важными из которых являются частоты и формы свободных колебаний. Результаты экспериментальных исследований при различных уровнях напряженного состояния значения декрементов колебания различные. При этом с помощью микросейсмов можно решить проблему диагностики состояния зданий и сооружений. Микросейсмические источники, которые возбуждают собственные колебания здания, являются постоянно присутствующие пульсации земли. Этот способ является наиболее технологичным и экономичным.

При производстве натуральных экспериментов по микросейсмическим колебаниям, измерения проводились в горизонтально-перпендикулярном направлении и вертикальном, то есть X, Y, Z. При этом записи микросейсм получились вполне отчетливые колебания.

При применении данного метода, следует делать по возможности длинные записи и обрабатывать наиболее удачные их участки. Полученные экспериментальные данные микросейсмических испытаний, благодаря переходным коэффициентам, могут быть использованы в практических расчетах. Это особенно важно, так как проведение массовых микросейсмических испытаний значительно легче, в то время как организация других видов испытаний связано с большими трудностями и материальными затратами [13].

Однако следует отметить, что при микросейсмических колебаниях деформации, возникающие в зданиях и сооружениях очень малы и, следовательно, уровень напряжений тоже значительно ниже, при этом достаточно сложно определить значения декрементов и периодов высших форм колебаний.

Из полученных микросейсмических данных установлено, что период собственных колебаний здания находится в пределах от 3,6-4,0 Гц.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать заключение, о справедливости вывода [3], что декремент затухания возрастает при увеличении изгибающего напряжения и убывает с увеличением сжимающего напряжения. Частота колебаний здания в обоих взаимно-перпендикулярных направлениях получилась равной.

Отметим, также, что величина периода колебаний не является постоянной для реального здания, так как в период эксплуатации происходит осадка фундамента

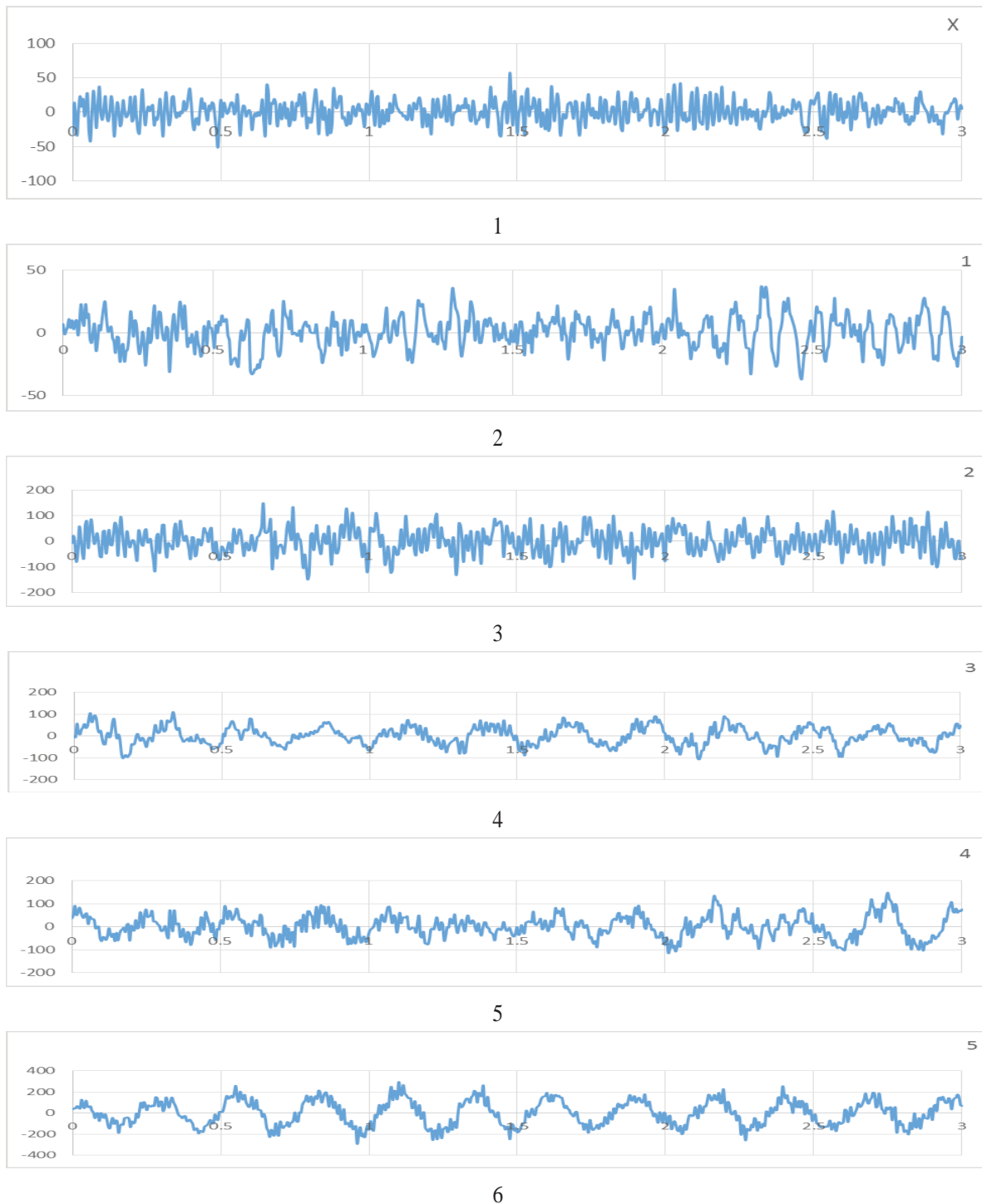


Рис. 6. Пример записей колебаний зданий X компонента, где 1 – запись колебания на грунте, 2 – на уровне пола 1-го этажа, 3-2-го этажа, 4-3-го этажа, 5-4-го этажа, 6-5-го этажа

здания, проявляются микро и макро трещины, связанные с различными вибрационными процессами.

Однако, можно утверждать, что за длительный срок эксплуатации здания, изменения динамических характеристик рассмотренного здания незначительны.

Литература

1. Айзенберг Я. М. Строительная наука против стихии. Природа. – 1989. – № 12. – С. 68-77.
2. Карапетян Н. К. Спектры сейсмических колебаний на территории Армении. – Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1973. – 268 с.
3. Карапетян Б. К. Колебание сооружений, возведённых в Армении. – Ереван: Изд. «Айастан», 1967. – 170 с.
4. Карапетян Б. К., Симонян С. С., Результаты исследования взаимодействия между основанием и фундаментом зданий в натуре при сейсмических колебаниях // Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле. – 1973. – Т. XXVI. Вып. 1. – С. 60-66.
5. Карапетян Б. К., Маркарян А. Б., Амаян Р. О. Моделирование жилого микрорайона с учётом фактора взаимодействия здания с основанием // Строительство и архитектура, серия 14. – М. – 1986. – Вып. 1. – С. 33-37.
6. Медведев С. В., Карапетян Б. К., Быховский А. В. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1968. – 191 с.
7. Мхитарян Д. А. Анализ поведения железобетонных несущих конструкций при сейсмическом воздействии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М. – 2008. – № 1. – С. 19-22.
8. Мхитарян Д. А. Моделирование железобетонных конструкций при сейсмическом воздействии. – М. – 2009. – № 1. – С. 20-22.
9. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. – Ереван. Изд. АН Арм. ССР, 1959. – 286 с.
10. Нормы проектирования сейсмического строительства СНРА II – 2.029. – Ереван. – 1995. – 39 с.
11. Хальтурин В. И., Геодакян Э. Г., Мхитарян Л. А., Саргсян Н. М., Шомахмадов А. М. Усиление макросейсмического эффекта в Ленинакане.
12. Хачиян Э. Е., Захарян В. А. Экспериментальное определение динамических характеристик зданий // Изв. НАН РА. – 1969. – Том 23. № 3. – С. 15-18.
13. Хачиян Э. Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. – Ереван. – 1973. – 327 с.