

УДК 550.34.016

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792

Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения

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

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5
e-mail: jon_iges@mail. ru; hhmy39@gmail. com;
dolores. mhitaryan@yandex. ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы изучения поведения зданий и сооружений в натуральных условиях. Статья посвящена теме исследования динамических характеристик жилого здания с неполным каркасом. Авторы предложили осуществлять изучение поведения зданий с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения, состоящей из трех сейсмоприемников – типа модернизированных сейсмоточников СМ-3, логгер, производства ИГИС НАН РА, оснащённых беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком.

Приводятся результаты исследований динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции с помощью специальной мобильной сейсмостанции, разработанной в ИГИС НАН РА. В процессе эксплуатации зданий их техническое состояние изменяется. Это выражается изменением количественных характеристик работоспособности (надёжности), в частности, динамических характеристик зданий. Нами была поставлена задача: исследование динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции и проверка его технического состояния, сравнение динамических характеристик с данными, полученными в ранее проведённых работах, а также сопоставление динамических характеристик грунтов их оснований. Замер колебаний осуществлён с помощью микросейсм. 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 здания были вызваны только естественными микросейсмами. Одним из важнейших преимуществ микросейсмических исследований является то, что количество микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, чрезвычайно велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большое количество информации для спектрального анализа. Эта информация позволяет решать ряд важных задач научного и практического характера.

Проведён сравнительный анализ полученных путем инструментальных наблюдений динамических характеристик здания и имевшихся ранее аналогичных данных. Выявлены закономерности изменения динамических характеристик в зависимости от длительности эксплуатации здания, в результате чего произведена оценка его фактического технического состояния.

Ключевые слова: микросейсмы, динамические характеристики, спектр Фурье, спектральный анализ, микросейсмическое исследование.

Для цитирования: Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Мхитарян Д. А. Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 110-121. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792.

Введение

Изучение поведения зданий и сооружений в натуральных условиях является важной научно-прикладной задачей. Исследование зданий в натуральных условиях является актуальным, особенно на территории Армении, учитывая ее высокую сейсмичность, и с точки зрения их безопасной эксплуатации, поскольку разрушение этих зданий может привести к большим материальным потерям и к человеческим жертвам.

В процессе эксплуатации зданий их техническое состояние изменяется. Это выражается в изменении количественных характеристик работоспособности (надёжности), в частности, динамических характеристик зданий. Нами была поставлена задача: исследование динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции и проверка его технического состояния, сравнение динамических характеристик с данными, полученными в ранее проведённых работах [Хачиян, 1973], а также сопоставление динамических характеристик грунтов их оснований.

Изучение поведения зданий осуществлялось с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения, состоящей из трех сейсмоприемников – типа модернизированных сейсмодатчиков СМ-3 (рис. 1а) (два горизонтальных (H) – X, Y, один вертикальный (V) – Z), общего блока (логгер) преобразования (рис. 1б), управления и регистрации производства ИГИС НАН РА, оснащённых беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком [Карапетян и др., 2017, Karapetyan et al., 2018]. С помощью этого блока можно следить за записями (частота записи – 200 отсчетов в секунду) в реальном режиме, которые представляются на мониторе ноутбука с помощью специально разработанной программы.

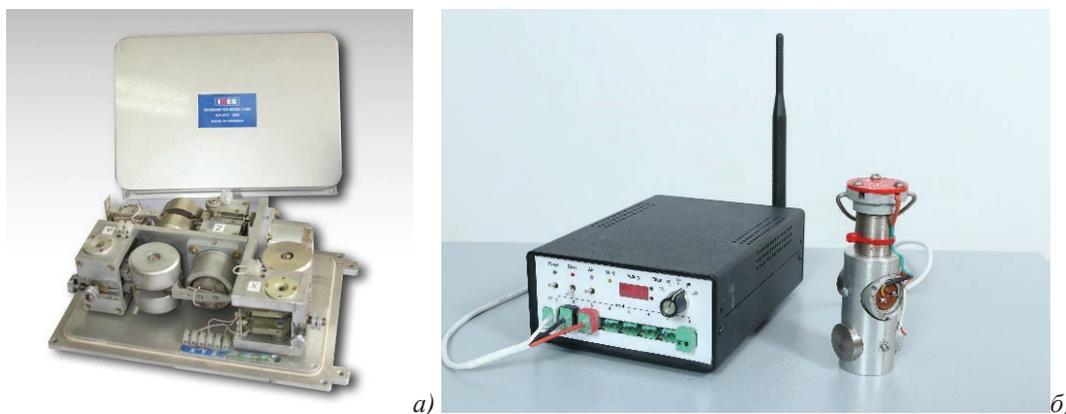


Рис. 1. а) трехкомпонентный velocimeter, б) логгер /
Fig. 1. a) three-component velocimeter, b) logger

Замер колебаний осуществлен с помощью микросейсм. 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 здания были вызваны только естественными микросейсмами.

Одним из важнейших преимуществ микросейсмических исследований является то, что количество микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, чрезвычайно велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большое количество информации для спектрального анализа. Эта информация позволяет решать ряд важных задач науч-

ного и практического характера [Kawase et al., 2014; Okada, 2003; Zaalishvili et al., 2016]. Этот способ исключительно прост, и поэтому может быть использован для массовых испытаний в различные периоды эксплуатации сооружения [Карапетян, 1967; Карапетян и др., 2017; Савин и др., 2008, 2011; Хачиян, 1973, 2015; Ditommaso et al., 2012]. Натурные испытания по изучению поведения зданий и сооружений проводились Ю. Накамурой, Н. К. Капустяном, С. Савиным, Г. И. Аносовым и другими учеными [Аносов и др., 2010; Капустян и др., 2013; Савин и др., 2008; Karustian et al., 2013; Nakamura et al., 1997, 2000, 2008]. В Армении исследования жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений с помощью натуральных испытаний были проведены Б. К. Карапетяном, Э. Е. Хачияном и другими учеными [Карапетян, 1967; Хачиян, 1973, 2015, Kobayashi et al., 1989, Karapetyan et al., 2013].

Особенно хотим отметить, что в начале 1970-х гг. в городе Ереване были проведены серии натуральных экспериментальных исследований по определению периодов и форм колебаний ряда зданий повышенной этажности с различными конструктивными схемами под руководством Э. Е. Хачияна, с участием В. А. Закаряна [Хачиян, 1973]. В результате этих экспериментов были определены периоды 41 каркасного жилого здания, 20 каркасных общественных зданий и 17 комплексных и блочно-каркасных жилых зданий с различными конструктивными схемами. Периоды колебаний определялись как в поперечном, так и в продольном направлениях. По одной из конструктивных схем были проведены испытания 8-ми зданий. В конструктивном

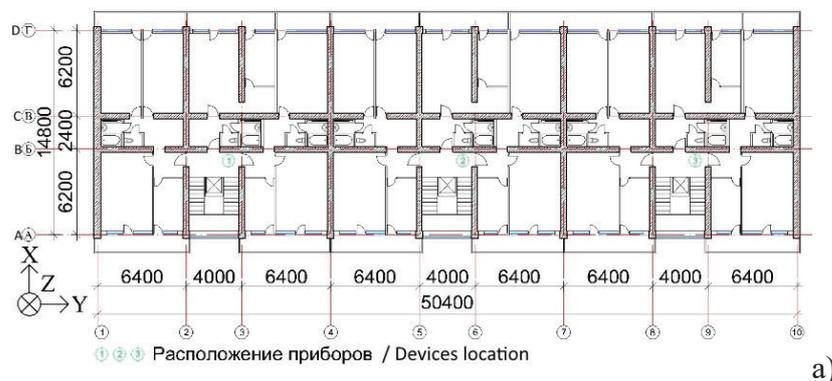


Рис. 2. а) схематический план и б) общий вид здания /
Fig. 2. a) a schematic plan and b) a general view of the building



Рис. 3. Размещение измерительных приборов: а) внутри здания и б) на грунте /
 Fig. 3. Placement of measuring devices: a) inside the building and b) on the ground

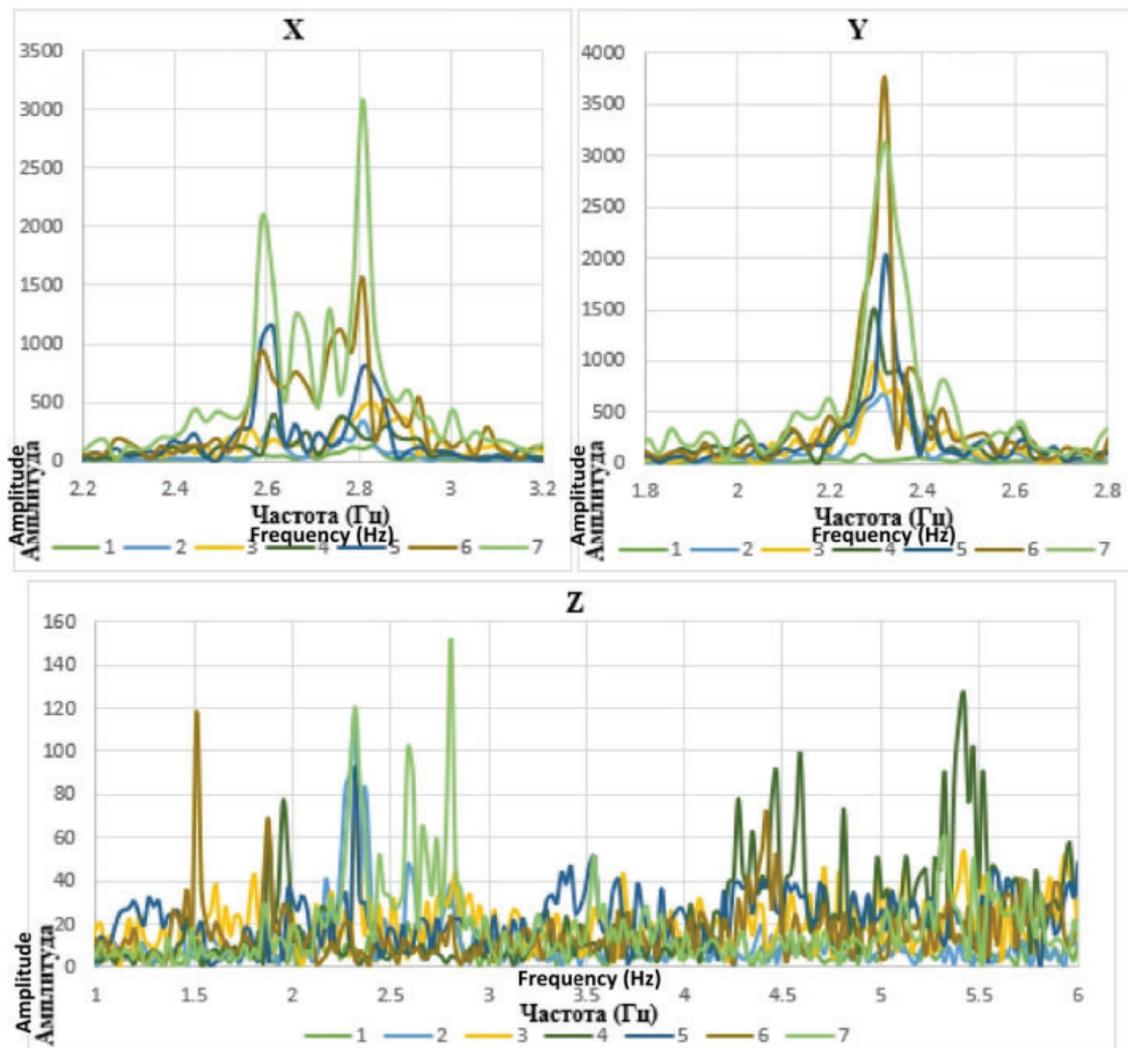


Рис. 4. Спектры Фурье, полученные для здания на всех этажах в X, Y и Z направлениях /
 Fig. 4. Fourier spectra obtained for the building on all floors in the X, Y and Z directions

отношении эти здания каменные с частично армированной кладкой и железобетонными стойками, скрытыми в теле кладки, то есть имеют комплексную конструкцию [Хачиян, 1973].

Экспериментальные исследования

Схема зданий в плане имеет прямоугольную форму с размерами $50,4 \times 14,8$ м (рис. 2а), с подвальным и 7 надземными этажами – высотой 21,1 м, а высота этажей составляет 3 м. Полученные значения периодов основного тона свободных колебаний для этих 8 зданий в поперечном направлении находятся в пределах 0,32-0,36 с; в продольном направлении – в пределах 0,35-0,45 с [Хачиян, 1973].

Нами было проведено натурное исследование одного из вышеотмеченных зданий. Здание было построено в 1969 году, расположено по адресу Гераца, 22 (рис. 2б). Основанием здания служат валунно-гравийные грунты с песчаным заполнением.

Измерения проводились на каждом этаже, а также на грунте основания здания (рис. 3). Определялись периоды колебаний здания и грунта основания как в поперечном T_x , так и в продольном T_y и вертикальном T_z направлениях. Был выполнен спектральный анализ по измерениям инструментальной записи (рис. 4 и 5).

Определены динамические характеристики (частота, период, амплитуда, декремент затуханий) здания и грунта. Эти значения в обоих перпендикулярных горизонтальных направлениях и в вертикальном направлении приведены в таблице 1 для первой секции здания, таблице 2 – для 2-й секции и таблице 3 – для 3-й секции.

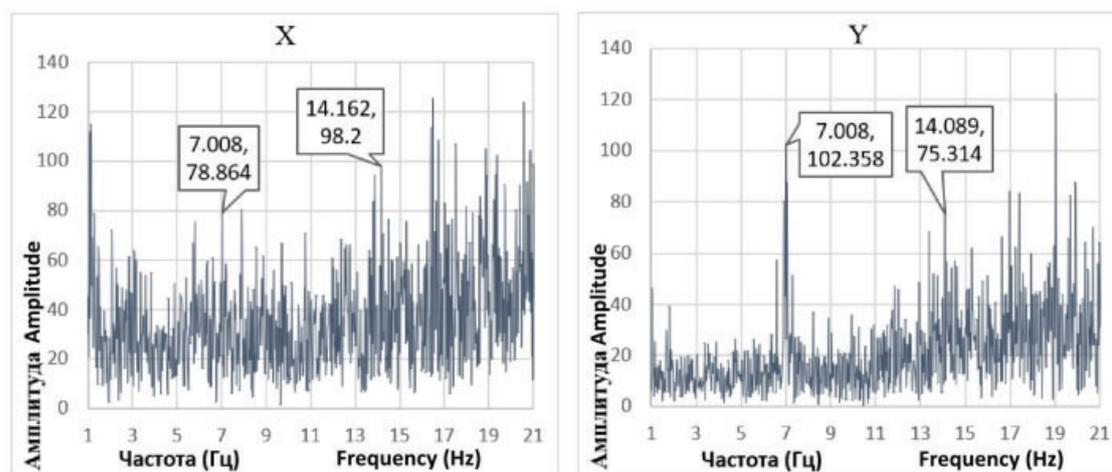


Рис. 5. Спектры Фурье, полученные для грунта основания здания в X, Y направлениях /
Fig. 5. Fourier spectra obtained for the foundation soils of the building in X, Y directions

Анализ данных измерений здания показывает, что значения собственных колебаний здания для 1-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,363 с (частота: 2,759 Гц), но в общем спектре Фурье от всех этажей проявляются несколько преобладающих пиков в диапазоне 2,61-2,83 Гц, среднее значение в направлении Y составляет 0,434 с (частота: 2,306 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,435 с (частота: 2,348 Гц).

Для 2-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,36 с (частота: 2,777 Гц), среднее значение в направлении Y составляет 0,431 с (частота: 2,32 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,412 с (частота: 2,445 Гц).

Для 3-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,36 с (частота: 2,777 Гц), среднее значение в направлении Y составляет 0,432 с (частота: 2,316 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,417 с (частота: 2,41 Гц).

Таблица 1 / Table 1.

**Динамические характеристики 1-й секции здания и грунтов основания /
Dynamic characteristics of the 1st section of the building and the foundation soils**

Компон. / Compon.	1-я секция здания / 1st section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
Грунт / Soil	7,008	78,65	0,143	7,008	102,36	0,143	7,594	32,5	0,132
1	2,832	133,97	0,353	2,271	88,11	0,440	2,832	42,68	0,353
2	2,808	346,97	0,356	2,32	652,74	0,431	2,32	113,96	0,431
3	2,832	503,4	0,353	2,295	984,45	0,436	2,32	69,58	0,431
4	2,613	409,86	0,383	2,295	1504	0,436	1,953	77,245	0,512
5	2,613	1139	0,383	2,32	2035	0,431	2,32	92,98	0,431
6	2,808	1545	0,356	2,32	3728	0,431	1,88	68,3	0,532
7	2,808	3080	0,356	2,32	3121	0,431	2,808	151,35	0,356
Среднее / Mean	2,759	-	0,363	2,306	-	0,434	2,348	-	0,435

Таблица 2 / Table 2.

**Динамические характеристики 2-й секции здания /
Dynamic characteristics of the 2nd section of the building**

Компон. / Compon.	2-я секция здания / 2nd section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
1	2,784	167	0,359	2,344	79,34	0,427	2,784	51,01	0,359
2	2,832	305,54	0,353	2,295	298,77	0,436	2,295	53,76	0,436
3	2,784	780,58	0,359	2,32	852,11	0,431	2,32	56,63	0,431
4	2,808	1133	0,356	2,32	1043	0,431	2,32	195,85	0,431
5	2,613	1106	0,383	2,295	1253	0,436	2,295	59,04	0,436
6	2,808	1756	0,356	2,32	2909	0,431	2,295	104,34	0,436
7	2,808	3822	0,356	2,344	1685	0,427	2,808	152,95	0,356
Среднее / Mean	2,777	-	0,360	2,320	-	0,431	2,445	-	0,412

Таблица 3 / Table 3.

**Динамические характеристики 3-й секции здания /
Dynamic characteristics of the 3rd section of the building**

Компон. / Compon.	3-я секция здания / 3rd section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
1	2,784	199,79	0,359	2,32	203,28	0,431	2,784	56,48	0,359
2	2,808	255,85	0,356	2,32	773,6	0,431	2,32	129,44	0,431
3	2,808	488,67	0,356	2,32	1305	0,431	2,246	25,17	0,445
4	2,808	1087	0,356	2,32	1565	0,431	2,32	88,45	0,431
5	2,832	1111	0,353	2,32	1356	0,431	2,32	62,57	0,431
6	2,808	2996	0,356	2,295	2516	0,436	2,295	79,06	0,436
7	2,588	1479	0,386	2,32	1083	0,431	2,588	88,77	0,386
Среднее / Mean	2,777	-	0,360	2,316	-	0,432	2,410	-	0,417

Обсуждение и анализ результатов

Расчетное значение периода T_1 первой формы горизонтальных колебаний в нормативных документах [СНРА, 2006] для каменных и кирпичных зданий равно:

$$T_1 = 0,055n = 0,055 \times 7 = 0,385 \text{ (с)}. \quad (1)$$

Полученные в работе [Хачиян, 1973], проведенной 1970-х гг. экспериментальные значения периодов основного тона свободных колебаний для этого здания были равны: в поперечном направлении 0,34 с; в продольном направлении 0,39 с.

Среднее значение логарифмического декремента затуханий основного тона колебаний здания для 1-й секции в направлении X составляет 0,093; в направлении Y – 0,098; в направлении Z – 0,076; для 2-й секции в направлении X равно 0,049; в направлении Y – 0,106; в направлении Z – 0,07, а для 3-й секции в направлении X равно 0,054; в направлении Y – 0,081; в направлении Z – 0,079.

По результатам записанных данных микроколебаний на грунте были построены спектры Фурье по всем направлениям компонентов. И в полученных спектрах нет ярко выраженных пиков, но есть много пиков с небольшими амплитудами. В направлении X колебания грунта происходили с частотой 7,008 Гц (период: 0,143 с), на которую накладывается частота 14,162 Гц (период: 0,07 с); в направлении Y – также с частотой 7,008 Гц (период: 0,143 с), с наложением частоты 14,089 Гц (период: 0,07 с), в направлении Z – с частотой 7,594 Гц (период: 0,132 с), с наложением частоты 14,162 Гц (период: 0,07 с). Логарифмический декремент затуханий для грунта составил: в направлении X – 0,016; в направлении Y – 0,017; в направлении Z – 0,022.

Выводы

По полученным результатам для исследуемого здания фактические значения периодов собственных колебаний здания в продольном направлении (Y) почти на 20% больше, чем в поперечном направлении (X). В поперечном направлении (X) получен сравнительно большой диапазон преобладающих частот по сравнению с продольным направлением (Y), где на всех этажах получились почти равные значения преобладающих частот. Это может быть связано с изменением уязвимости здания и особенностями конструктивных решений.

В спектре Фурье от микроколебаний грунта есть много пиков с небольшими амплитудами. И, как видно, преобладающий период грунтов значительно отличается (более чем в 1,5 раз меньше) от периода первого тона собственных колебаний здания.

Значения периодов колебания здания в поперечном направлении (X) не превышают нормативное значение (по уравнению (1)), меньше на 6-6,5%, а в продольном направлении (Y) превышают нормативное значение – на 12-13%.

Фактические значения периодов собственных колебаний здания по сравнению со старыми значениям [Хачиян, 1973] возросли в поперечном направлении (X) на 6-7%; в продольном направлении (Y) – на 10,5-11%. Поскольку значение периодов превышает более чем на 10% значение старого измерения, следовательно, по условиям пункта 6.2.5 «ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», техническое состояние такого здания подлежит обязательному внеплановому обследованию [ГОСТ 31937-2011, 2014].

Литература

1. Аносов Г.И. и др. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса №3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамуры // Вестник Краунц. Науки о Земле. – 2010. – № 1. Вып. № 15. – С. 223-231.
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 59 с.
3. Капустян Н.К., Климов А.Н., Антоновская Г.Н. Высотные здания: опыт мониторинга и пути его использования при проектировании // Жилищное строительство. – 2013. – № 11. – С. 6-12.
4. Карапетян Б.К. Колебание сооружений возведенных в Армении. – Ереван: Изд. «Айастан», 1967. – 170 с.
5. Карапетян Дж.К., Мхитарян Д.А., Айрапетян О.Ю. Инструментальное обследование зданий и сооружений в природных условиях и оценка их технического состояния // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Международной научно-практической конференции. 22-24 сентября 2017 г. / Под ред. Заалишвили В.Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017. – С. 442-452.
6. Савин С.Н., Демишин С.В., Ситников И.В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 33-39.
7. Савин С.Н., Ситников И.В., Данилов И.Л. Современные методы технической диагностики и мониторинга как средство безопасности строительных кон-

струкций // В мире неразрушающего контроля. – СПб.: Изд. ООО «Свен», 2008. – С. 14-18.

8. СНРА П-6.02.2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Ереван. – 2006. – 64 с.

9. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия и прогноз поведения сооружений. – Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2015. – 555 с.

10. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. – Ереван: Изд. «Айастан», 1973. – 327 с.

11. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and timefrequency analyses // *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x. – 2012. – 23 p.

12. Kapustian N., Antonovskaya G., Agafonov V., Neumoin K., Safonov M. Seismic monitoring of linear and rotational oscillations of the multistory buildings in Moscow // *Seismic Behavior of Irregular and Complex Structures. Geotechnical, geological and Earthquake Engineering*. – 2013. – vol. 24. – Pp. 353-363.

13. Karapetyan J., Hayrapetyan H., Mkhitarian D. Studying The Behavior of The Framed Residential Buildings Located in The City of Yerevan // *Bulletin of National Agrarian University of Armenia*. – 2018. – 4 (64). – Pp. 43-48.

14. Karapetyan J.K., Hovhanesyan M.S., Geodakyan E.E., Geodakyan E.N. Determination of vulnerability functions of old buildings and constructions during the Spitak earthquake, 07.12.1988 // *International Conference on Earthquake Engineering*. 29 to 31 May. Conference on earthquake engineering “50 Years Skopje Earthquake – 50 Years of European Earthquake Engineering”. – Skopje: 2013. – Pp. 115-119.

15. Kawase H., Nagashima F., Matsushima S., Sanchez-Sesma F.J. Application of Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectral ratios for Both Microtremors and Earthquake Motions Based on The Diffuse Field Theory // *10th U.S. National Conference in Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage: 2014.

16. Kobayashi H. Ohtani K. Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors // *Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake / Sponsored by UNESCO*. May 23-26. – Yerevan: 1989. – Pp. 141-153.

17. Nakamura, Y., Gurler E.D., Saita J., Rovelli A., Donati S. Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor // *Prepared for 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ 2660/6/A*. – Auckland: 2000. – Pp. 1-8.

18. Nakamura, Y. On The H/V Spectrum // *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17. – Beijing: 2008.

19. Nakamura, Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor // *World Congress on Railway Research*. – Florence: 1997. – Pp. 1-7.

20. Okada H. The Microtremor Survey Method: SEG, TULSA // *Geophysical monography*. – 2003. – S. №12. – 135 p.

21. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Dzeranov B.V., Shepelev V.D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation // *International Journal of Geomate*. – 2016. – 10, №19. – Pp. 1670-1674.

GEOPHYSICAL METHODS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792

Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building using mobile seismic station of new generation

J. K. Karapetyan, Cand. Sci. (Geol.), H. Yu. Hayrapetyan,
D. A. Mkhitarian, Cand. Sci. (Tech.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V,
Sarksyán Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia
e-mail: jon_iges@mail.ru; hhmy39@gmail.com; dolores.mhitarian@yandex.ru

Abstract: The article deals with the study of the behavior of buildings and structures in natural conditions. The article is devoted to the study of the dynamic characteristics of a residential building with an incomplete frame. The authors proposed to study the behavior of buildings using a mobile seismic station of a new generation consisting of three seismic receivers, such as the upgraded SM-3 seismic sensors, a logger, produced by IGES NAS RA, equipped with a wireless network that provides communication with a laptop.

The article presents the results of studies of the dynamic characteristics of a residential building of a composite structure with the help of a special mobile seismic station developed at IGES NAS RA. During the operation of buildings, their technical condition changes. This is expressed by a change in the quantitative characteristics of performance (reliability), in particular, the dynamic characteristics of buildings. We set the task: to study the dynamic characteristics of a residential building with a complex structure and to check its technical condition, to compare the dynamic characteristics with data obtained in earlier works, and also to compare the dynamic characteristics of the grounds of their bases. Measurement of vibrations were carried out with the help of microseisms. In such measurements it is necessary to avoid the influence of the movement of vehicles and other permanent sources of generation of vibrations of soils and buildings. Therefore, measurements were made at night to ensure that the vibrations of the soil and buildings were caused only by natural microseisms. One of the most important advantages of microseismic research is that the number of micropulses recorded on the surface of the Earth and on buildings and structures is extremely large, so it is possible to obtain a large amount of information for spectral analysis in a short time without much expense. This information allows you solving a number of important tasks of a scientific and practical nature.

A comparative analysis of the dynamic characteristics of the building obtained by instrumental observations and previously available similar data was carried out. The regularities of changes in the dynamic characteristics depending on the duration of the building's operation were revealed, as a result of which an assessment of its actual technical condition was made.

Keywords: microseisms, dynamic characteristics, Fourier spectrum, spectral analysis, microseismic research.

For citation: Karapetyan J. K., Hayrapetyan H. Yu., Mkhitarian D. A. Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 110-121. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792.

References

1. Anosov G.I. et al. Evaluation of seismic stability of the educational building №3 of the Russian State University named after I. Kant using the Nakamura technique. Bulletin of Kamchatka regional association "Educational-Scientific center". Earth Sciences. 2010. No. 1. Issue No. 15. pp. 223-231. (in Russ.)

2. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. M. Standartinform, 2014. 59 p. (in Russ.)
3. Kapustyan N.K., Klimov A.N., Antonovskaya G.N. High-rise buildings: monitoring experience and ways of its use in the design. *Housing construction*. 2013. No. 11. Pp. 6-12. (in Russ.)
4. Karapetyan B.K. *Vibration of structures erected in Armenia*. Erevan: Publisher "Aiastan", 1967. 170 p. (in Russ.)
5. Karapetyan Dzh.K., Mkhitaryan D.A., Airapetyan O.Yu. Instrumental examination of buildings and structures in natural conditions and evaluation of their technical condition. *Geological-geophysical Studies of the Deep Structure of the Caucasus: Geology and Geophysics of Caucasus: Contemporary Challenges and Research. Materials of the International Scientific and Practical Conference. On 22-24 September 2017*. Edited by Zaalishvili V.B. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. pp. 442-452. (in Russ.)
6. Savin S.N., Demishin S.V., Sitnikov I.V. Monitoring unikal'nykh ob'yektov s ispol'zovaniyem dinamicheskikh parametrov po GOST R 53778-2010. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, 2011. № 7. pp. 33-39.
7. Savin S.N., Sitnikov I.V., Danilov I.L. Modern methods of technical diagnostics and monitoring as a means of safety of building structures. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*. SPb. Publisher OOO "Sven", 2008. pp. 14-18. (in Russ.)
8. SNRA II-6.02.2006. SNRA II-6.02.2006. *Earthquake engineering. Design standards*. Erevan. 2006. 64 p. (in Russ.)
9. Khachiyani E.E. *Seismic effects and prediction of the behavior of structures*. Erevan, Publisher "Gitutyun" NAN RA, 2015. 555 p. (in Russ.)
10. Khachiyani E.E. *Seismic effects on high-rise buildings and structures*. Erevan, Publisher "Aiastan", 1973. 327 p. (in Russ.)
11. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and timefrequency analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x. 2012. 23 p.
12. Kapustyan N., Antonovskaya G., Agafonov V., Neumoin K., Safonov M. Seismic monitoring of linear and rotational oscillations of the multistory buildings in Moscow. *Seismic Behavior of Irregular and Complex Structures. Geotechnical, geological and Earthquake Engineering*, 2013. vol. 24. pp. 353-363.
13. Karapetyan J., Hayrapetyan H., Mkhitaryan D. Studying The Behavior of The Framed Residential Buildings Located in The City of Yerevan. *Bulletin of National Agrarian University of Armenia*, 2018. 4 (64). pp. 43-48.
14. Karapetyan J.K., Hovhanesyan M.S., Geodakyan E.E., Geodakyan E.N. Determination of vulnerability functions of old buildings and constructions during the Spitak earthquake, 07.12.1988. *International Conference on Earthquake Engineering. 29 to 31 May. Conference on earthquake engineering "50 Years Skopje Earthquake – 50 Years of European Earthquake Engineering"*, Skopje. 2013. Pp. 115-119.
15. Kawase H., Nagashima F., Matsushima S., Sanchez-Sesma F.J. Application of Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectral ratios for Both Microtremors and Earthquake Motions Based on The Diffuse Field Theory. *10th U.S. National Conference in Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage. 2014.
16. Kobayashi H., Ohtani K. Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors. *Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake / Sponsored by UNESCO. May 23-26. Yerevan. 1989*. Pp. 141-153.
17. Nakamura, Y., Gurler E.D., Saita J., Rovelli A., Donati S. Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor. Prepared for 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ 2660/6/A. Auckland. 2000. Pp. 1-8.
18. Nakamura, Y. On The H/V Spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17. Beijing. 2008*.

19. Nakamura, Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research. Florence: 1997. Pp. 1-7.

20. Okada H. The Microtremor Survey Method: SEG, TULSA. Geophysical monography. 2003. S. № 12. 135 p.

21. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kanukov A. S., Dzeranov B. V., Shepelev V. D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation. International Journal of Geomate. 2016. 10, № 19. Pp. 1670-1674.