

УДК 550:34

DOI: [10.46698/VNC.2021.70.17.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.70.17.009)

Оригинальная статья

Сравнительный анализ динамических характеристик зданий различных типов при микросейсмических колебаниях

Дж. К. Карапетян^{ID}, О. Ю. Айрапетян^{ID}, Г. М. Матевосян^{ID},
Р. К. Карапетян^{ID}

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

Статья поступила: 03.08.2021, доработана: 20.08.2021, принята к публикации: 27.08.2021

Резюме: Актуальность работы. Изучение поведения зданий в натуральных условиях и сравнительный анализ их динамических характеристик считается важной задачей научно-исследовательского и прикладного характера, в частности, для мониторинга их технического состояния и паспортизации, что является актуальным особенно на территории Армении, принимая во внимание интенсивную высокосейсмичность района. В работе приводятся экспериментальные результаты исследований динамических характеристик 6 жилых зданий разной этажности, возведенных в различных грунтовых условиях, от записей микросейсм с помощью специально разработанных в ИГИС НАН РА сейсмических приборов. Выбор зданий был осуществлен с учетом того, что ранее на них проводились эксперименты для выявления их динамических характеристик. **Целью работы** является проверка фактического состояния зданий, сопоставление фактических и прежде приобретенных динамических характеристик исследуемых зданий. **Методы работы.** Примененная нами методика изучения поведения зданий проведена с помощью мобильной сейсмостанции, состоящей из трех приемников – сейсмодатчиков СМ-3 (два горизонтальных и один вертикальный компонент), общего блока преобразования, управления и регистрации производства ИГИС НАН РА. С помощью этого блока можно вести онлайн наблюдение записей, которые представляются на мониторе ноутбука. На каждом этаже и во всех секциях исследуемых зданий, а также на грунте основания проводились измерения микросейсм. Определялись периоды колебаний зданий и для грунтов в поперечном, в продольном и вертикальном направлениях. Измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунта и зданий были вызваны только естественными микросейсмами. **Результаты работы.** В результате проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных величин динамических характеристик и ранее приобретенных данных. Выявлены основные закономерности изменений динамических характеристик при микросейсмических колебаниях и дана оценка о состоянии зданий. Обнаружены особенности совместной работы зданий и грунтов. Фактические значения периодов, приобретенные для исследуемых зданий, были сопоставлены с соответствующими данными, представленными в действующих нормативных документах.

Ключевые слова: микросейсмы, динамические характеристики, спектральный анализ, спектр Фурье, периоды колебаний зданий.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке КН РА (грант АСН-01/21).

Для цитирования: Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Матевосян Г. М., Карапетян Р. К. Сравнительный анализ динамических характеристик зданий различных типов при микросейсмических колебаниях. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (3): 103 – 114. DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009.

[DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.70.17.009)

Original paper

Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations

J. K. Karapetyan , H. Yu. Hayrapetyan , G. M. Matevosyan ,
R. K. Karapetyan 

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

Received: 03.08.2021, revised: 20.08.2021, accepted: 27.08.2021

Abstract: Relevance. The study of the behavior of buildings in natural conditions and a comparative analysis of their dynamic characteristics is considered an important task of scientific research and applied nature, in particular, for monitoring their technical condition and certification. This task is relevant especially in the territory of Armenia, taking into account the intensive high seismicity of the region. The paper presents the experimental results of studies of the dynamic characteristics of 6 residential buildings of different storeys, erected in different soil conditions, from recordings of microtremors using seismic instruments specially developed at IGES NAS RA. The choice of the buildings has been carried out taking into account the fact that earlier experiments had been carried out on them to identify their dynamic characteristics. **The aim** of the work is to check the actual state of buildings, to compare the actual and previously acquired dynamic characteristics of the buildings under study. **Methods.** Our methodology for studying the behavior of buildings have been carried out using a mobile seismic station, consisting of three receivers – seismic sensors SM-3 (two horizontal and one vertical component), a general unit for transformation, control and registration powered by IGES NAS RA. With the help of this logger, it is possible to conduct online monitoring of the records that are presented on the laptop monitor. Microtremor measurements have been carried out on each floor and in all sections of the buildings under study, as well as on the basement soil. The vibration periods of buildings and soil have been also determined in the transverse, longitudinal and vertical directions. The measurements have been taken at night to ensure that only natural microseismic vibrations have been caused on the soils and buildings. **Results.** As a result, we have carried out a comparative analysis of the obtained experimental values of dynamic characteristics and previously acquired data. The main regularities of changes in dynamic characteristics during microseisms are revealed and an assessment of the condition of the buildings is given. The features of the joint work of buildings and soils have been discovered. The actual values of the periods acquired for the buildings under study have been compared with the corresponding data presented in the current regulatory documents.

Keywords: microseisms, dynamic characteristics, spectral analysis, Fourier spectrum, vibration periods of buildings.

Acknowledgments: *The research was carried out with financial support of SC RA (grant ACH-01/21).*

For citation: Karapetyan J. K., Hayrapetyan H. Yu., Matevosyan G. M., Karapetyan R. K. Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (3): 103 – 114. DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009.

Введение

В 1960-1970 гг. учеными Б.К. Карапетяном и Э.Е. Хачияном в городе Ереване были проведены серии экспериментальных исследований по определению периодов и форм колебаний ряда зданий с разными конструктивными схемами [Карапетян, 1967; Хачиян, 1973].

В данных экспериментах динамические характеристики зданий измерялись экспериментальным методом с помощью малых колебаний зданий, вызванных микросейсмическими воздействиями, и путем их испытания при помощи специальной вибромашины, а еще при сейсмовзрывных воздействиях.

В результате этих экспериментов Б.К. Карапетяном и Э.Е. Хачияном были определены динамические характеристики, соответственно 50 и 58 жилых зданий различных типов [Карапетян, 1967; Хачиян, 1973].

Однако в течение длительного времени таких исследований по этим зданиям не проводилось. Поэтому очень важно провести периодические исследования над ними, определить динамические характеристики зданий, особенности и закономерности спектрального состава колебаний, сравнить с ранее полученными данными и сделать соответствующие выводы и рекомендации.

Из вышеперечисленных зданий, мы избрали некоторое количество зданий, провели экспериментальное исследование и выяснили их фактическое состояние, а также сравнили их с ранее приобретенными данными. Работа имеет продолжительный характер, с целью выявления фактических динамических характеристик и для остальных зданий.

Задачей исследования было определение периодов колебаний 6 жилых зданий и проверка фактического состояния зданий, сравнение их динамических характеристик с данными полученных от ранее проведенных работ и с соответствующими нормативными значениями, а также сопоставление с преобладающими периодами грунтов их оснований.

Методика исследования

Примененная нами методика исследования поведения зданий осуществлена с использованием мобильной сейсмостанции, состоящей из 3-х сейсмодатчиков СМ-3 – двух горизонтальных и одного вертикального компонента, а также логгера производства ИГИС НАН РА, оборудованным беспроводной сетью (Wi-Fi), которая обеспечивает связь с портативным компьютером (рис. 2). Частота записи – 200 отсчетов в секунду [Айрапетян, 2018; Карапетян и др., 2019; Karapetyan et al., 2020].

Устройства были поставлены на каждом этаже зданий, а также на грунте оснований. Измерения проведены ночью, для того чтобы колебания грунта и зданий были обусловлены только естественными микросейсмами.

Достоинства этого метода заключаются в том, что он прост и, следовательно, может быть применен для массовых исследований в разных периодах эксплуатации здания и сооружений [Аносов и др., 2010а, б; Еманов, Скляр, 2009; Заалишвили и др., 2016; Капустян и др., 2013; Оганесян, 2013; Савин и др., 2008; Хачиян, 2015; Ditommaso et al., 2012; Giacomo et al., 2005; Kapustian et al., 2013; Khachian et al., 2013; Mucciarelli, 2003; Nakamura, 1997? 2008; Zaalishvili et al., 2016].

Ниже представлены фотографии исследуемых зданий (рис. 1), а в таблице приведены их основные параметры и типы грунтов (табл. 1).



Рис. 1. Исследуемые жилые здания /
Fig. 1. Residential buildings under investigation

Во всех этажах зданий и грунтов их оснований определялись их периоды колебаний в поперечном T_x , в продольном T_y и в вертикальном T_z направлениях. Был выполнен спектральный анализ по приобретенным экспериментальным данным инструментальной записи.

Построены спектры Фурье, полученные от измерений микросейсмических колебаний зданий различных конструктивных систем. Ниже в графиках приведены эти спектры для исследуемых зданий.

Таблица 1 / Table 1

**Основные параметры зданий и их грунтов /
Main parameters of buildings and their soils**

№	Год возведе- ния здания / Year of con- struction of the building	Тип здания и конструктивные решения / Building type and design solutions	Размеры в плане, м (кол- во подъездов) / Dimensions in plan, m (number of en- trances)	Высота, м (кол-во этажей) / Height, m (number of floors)	Грунты основания / Foundation soils
1	1967 г.	3-хэтажное здание с каменными несущими стенами / Three-storeyed building with stone bearing walls	56,0 × 12,0 (4)	10,3 (3)	Галечники / Pebble stones
2	1963 г.	5-тиэтажное здание с каменными несущими стенами / Five-storeyed building with stone bearing walls	50,4 × 12,0 (3)	15,4 (5)	Галечники / Pebble stones
3	1965 г.	7-миэтажное каркасное здание с неполным каркасом и каменными наружными стенами / Seven-storeyed frame building with incomplete framework and stone exterior walls	19,5 × 11,7 (1)	25,2 (7)	Базальты / Basalts
4	1969 г.	7-миэтажное здание с комплексной конструкцией / Seven-storeyed building with composite structure	50,4 × 14,8 (3)	21,2 (7)	Валунно-гравийные грунты с песчаным заполнением / Boulder-gravel soils with sand filling
5	1968 г.	9-тиэтажное каркасное здание с панельными стенами / Nine-storeyed frame building with panel walls	39,0 × 12,0 (2)	35,25 (10)	Крупнообломочные базальтовые породы / Coarse basaltic rock
6	1970 г.	11-тиэтажное каркасное здание с панельными стенами / Eleven-storeyed frame building with panel walls	32,0 × 15,0 (2)	34,2 (11)	Суглинки со щебнем (60%) и туфы (40%) / Loam with crushed stone (60%) and tuff (40%)



Рис. 2. Мобильная сейсмостанция производства ИГИС НАН РА /

Fig. 2. Mobile seismic station produced by IGIS NAS RA

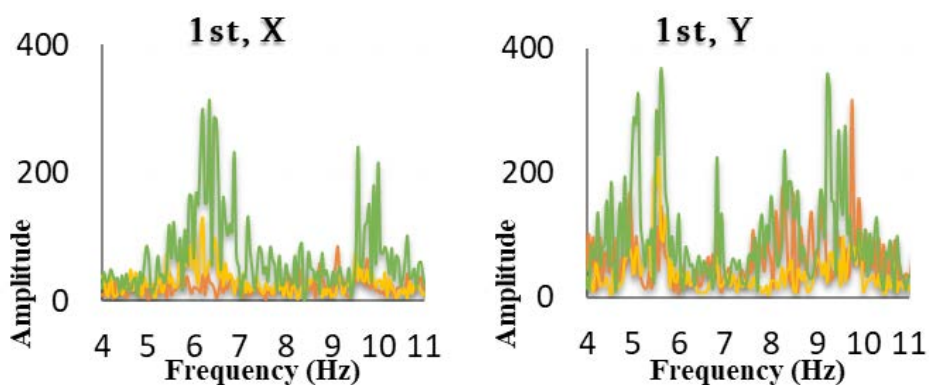


Рис. 3. Спектры Фурье, полученные для здания №1 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 3. Fourier spectra obtained for building No. 1 at each storey in X, Y directions

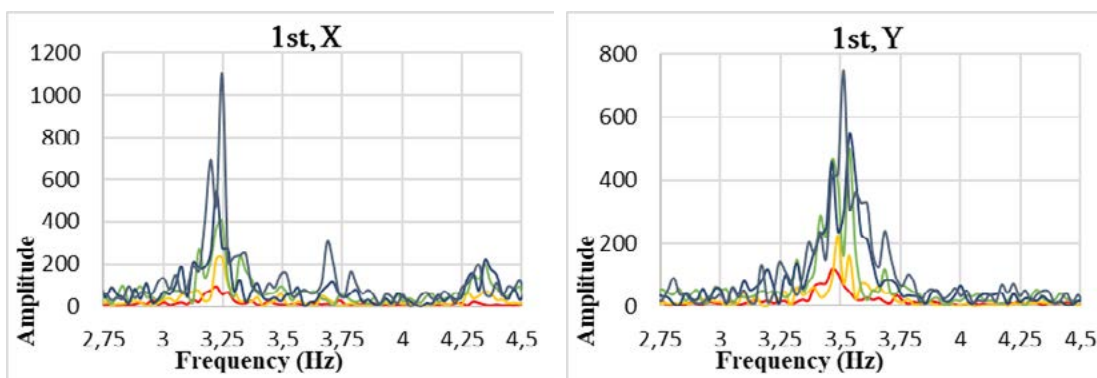


Рис. 4. Спектры Фурье, полученные для здания №2 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 4. Fourier spectra obtained for building No. 2 at each storey in X, Y directions

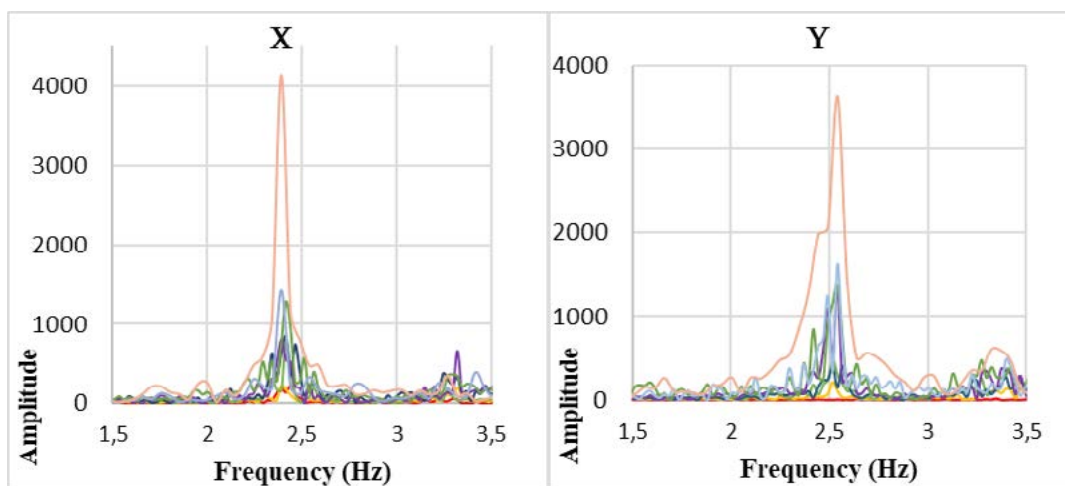


Рис. 5. Спектры Фурье, полученные для здания №3 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 5. Fourier spectra obtained for building No. 3 at each storey in X, Y directions

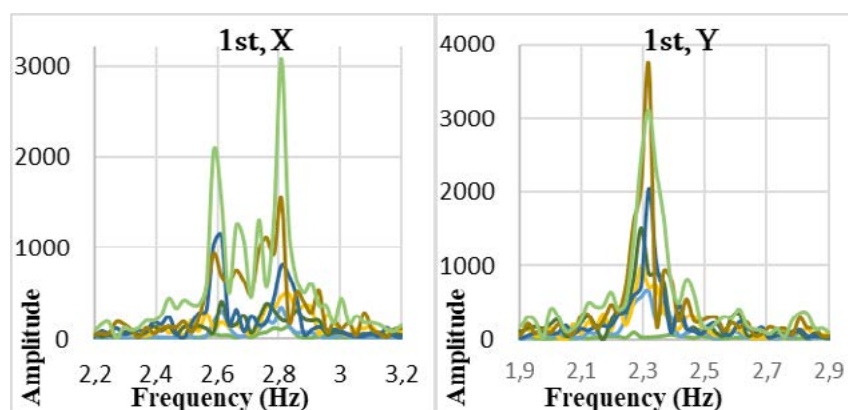


Рис. 6. Спектры Фурье, полученные для здания № 4 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 6. Fourier spectra obtained for building No. 4 at each storey in X, Y directions

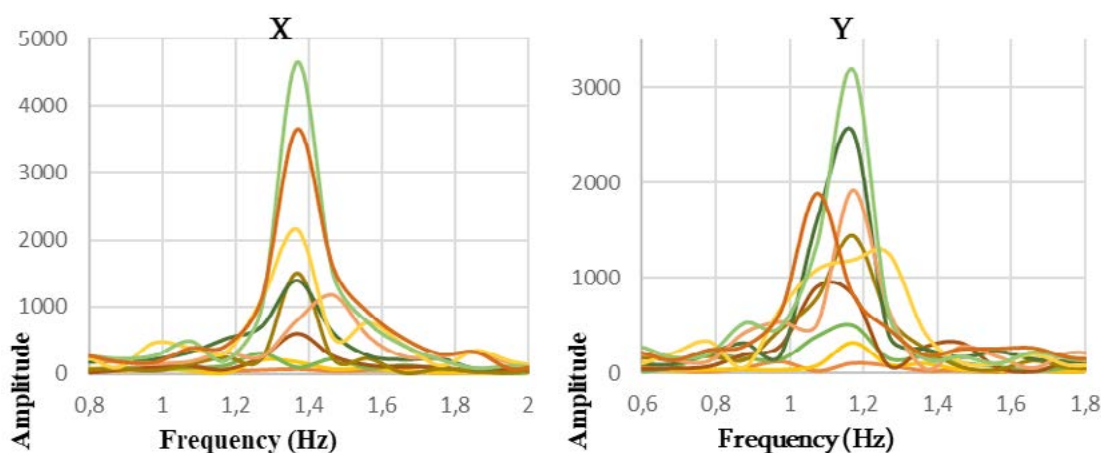


Рис. 7. Спектры Фурье, полученные для здания № 5 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 7. Fourier spectra obtained for building No. 5 at each storey in X, Y directions

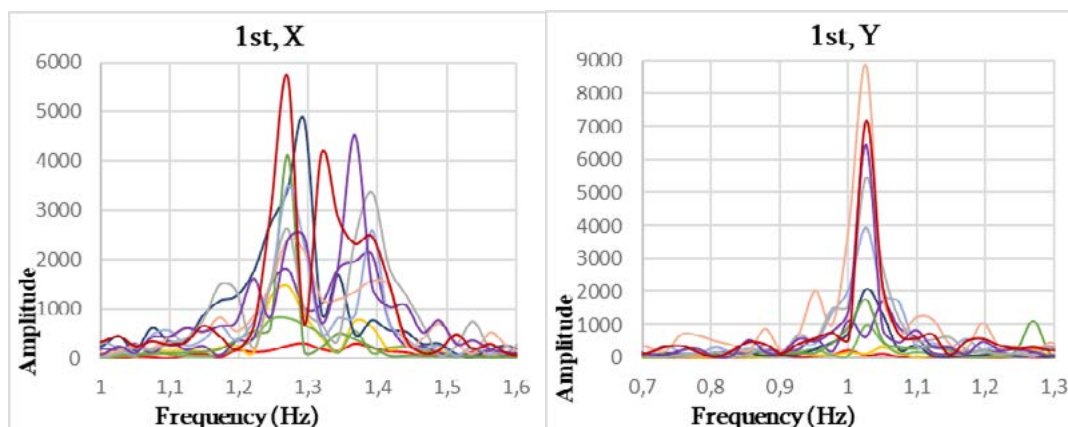


Рис. 8. Спектры Фурье, полученные для здания № 6 на всех этажах в X, Y направлениях /
Fig. 8. Fourier spectra obtained for building No. 6 at each storey in X, Y directions

Проведен временной анализ динамических параметров зданий, выполнено сравнение фактических и расчетных значений, приведенных в действующих нормативах. В таблице 2 приведены периоды измеренных колебаний жилых зданий, их старые экспериментальные значения, соответствующие данные, приведенные в нормативных документах и полученные различия в процентах.

Таблица 2 / Table 1

**Динамические параметры зданий и их сравнение /
Dynamic parameters of buildings and their comparison**

№	Тип здания и конструктивные решения / Building type and design solutions	Измеренный период собств. колебаний / Measured period of natural vibrations			Старое экспер. значение периода и разница в % / Old expert value of the period and the difference in %		Нормативное значение периода колебаний T ₁ , с / Regulatory value of vibration period T ₁ , s	
		T _X , с	T _Y , с	T _Z , с	T _X ^{стр} , с	T _Y ^{стр} , с	% X	% Y
1	3-хэтажное здание с каменными несущими стенами / Three-storeyed building with stone bearing walls	0,159	0,179	0,10	0,154 3...4,5% 12%	0,154 11...17%	0,165	
		0,136	0,18	0,102				
		0,161	0,178	0,093			3%	4...9%
		0,160	0,171	0,096			17,5%	
2	5-тиэтажное здание с каменными несущими стенами / Five-storeyed building with stone bearing walls	0,309	0,285	0,089	0,25 23,5% 8...9%	0,25 14...15%	0,275	
		0,27	0,287	0,086				
		0,272	0,286	0,087			12,5%	3,5...4,5%
3	7-миэтажное каркас- ное здание с неполным каркасом и каменными наружными стенами / Seven-storeyed frame building with incomplete framework and stone exterior walls	0,415	0,395	0,115	0,357 16%	0,357 11%	-	
4	7-миэтажное здание с комплексной конструк- цией / Seven-storeyed building with composite structure	0,363	0,434	0,435	0,34 6...7%	0,39 11%	0,385	
		0,36	0,431	0,412				
		0,36	0,432	0,417			6...6,5%	12...13%
5	9-тиэтажное каркасное здание с панельными стенами / Nine-storeyed frame building with panel walls	0,738	0,863	0,15	0,68 8,5%	0,80 8%	0,765	
							3,5%	13%
6	11-тиэтажное каркасное здание с панельными стенами / Eleven-storeyed frame building with panel walls	0,762	0,971	0,147	0,73 4,5%	0,94 3,5%	0,935	
		0,763	0,973	0,144			18,5%	4%

Выводы

Фактические значения периодов, полученные для исследуемых зданий, были сопоставлены с соответствующими данными, представленными в действующих нормативных документах «СНРА II-6.02-2006». Было установлено, что фактические значения, полученные для некоторых из исследованных зданий, почти совпадали с нормативными значениями, в то время как для других зданий были получены различия до 13%.

Выявлены особенности совместной работы зданий и грунтов. Для базальтовых грунтов значения преобладающего периода колебаний грунта в трех направлениях

существенно различаются от периодов собственных колебаний зданий, и в спектрах Фурье имеют ярко выраженные преобладающие пики. А в случае дисперсных грунтов в спектре Фурье от микроколебаний грунта есть много пиков с небольшими амплитудами. Значения периодов основного тона колебания таких грунтов совпадают со значениями периодов колебаний зданий в X и Y направлениях, которые можно рассматривать как обратное воздействие на грунт передаваемое от колебаний здания. В этом проявляются особенности совместной работы здания и грунта.

Результаты исследования показывают, что в исследуемых зданиях с каменными несущими стенами, их конструктивная целостность нарушена и не работает как единое целое.

1) Сравнивая фактические значения периодов собственных колебаний здания №1 со значением, полученной в работе [Карапетян, 1967], становится ясно, что в поперечном направлении (X) периоды увеличились только на 3-4,5%, а во 2-й секции – наоборот, уменьшились на 12%; в продольном направлении (Y) периоды увеличились на 11-17%.

2) Периоды собственных колебаний здания №2 увеличились по сравнению со старым общим значением; в поперечном направлении (X) на 8-9% и на 23,5% в 1-й секции, а в продольном направлении (Y) на 14-15%.

3) Периоды собственных колебаний здания №3 увеличились по сравнению со старым общим значением; в поперечном направлении (X) на 16%, а в продольном направлении (Y) на 11%.

4) От результатов наших экспериментов выяснилось, что фактические значения периодов собственных колебаний здания №4 по сравнению со старыми значениями [Хачиян, 2015] возросли в поперечном направлении (X) на 6-7%; в продольном направлении (Y) – на 10,5-11%.

5) Периоды собственных колебаний здания №5 по сравнению с прежними значениями, увеличились на 8-8,5%.

6) Периоды собственных колебаний здания №6 почти равны прежним значениям, только лишь на 3,5-4,5% возросли периоды собственных колебаний.

Значение периодов зданий, которых превосходит более чем на 10% от значения старого измерения, по условиям 6.2.5 пункта ГОСТ 31937-2011, техническое состояние такого здания подлежит обязательному внеплановому обследованию. А те здания, значение периодов которых не превышает 10% от старого измерения, по условиям того же пункта 6.2.5 последующие измерения проводятся через два года.

Литература

1. Айрапетян О.Ю. Экспериментальное исследование динамических характеристик семиэтажного жилого каркасного здания на основе микросейсмических колебаний. // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Сборник статей VI Всероссийской молодежной геологической конференции. – Уфа: 2018. – С. 189-193.
2. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Зиновьев В.Н., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Исследование сейсмической устойчивости общественно важных зданий города Калининграда. // Казанская наука. – 2010а. – №9. Вып. 2. – С. 561-566.
3. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Коновалова О.А., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса №3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамуры. // Вестник Краунц. Науки о Земле. – 2010б. – Вып. 15 (1). – С. 223-231.

4. Еманов А. Ф., Складов Л. А. Технология диагностики и мониторинга состояния строительных конструкций на основе исследования микросейсмических колебаний. // О регистрации средства массовой информации: «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН. – Новосибирск, 2009. – С. 1-9.
5. Заалишвили В. Б., Кануков А. С., Мельков Д. А. О возможной взаимосвязи изменения гравитационного поля и уровня микросейсмических колебаний с сейсмическими событиями. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 2. – С. 20-26.
6. 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.
7. Карапетян Б. К. Колебание сооружений возведенных в Армении. – Ереван: Изд. «Айастан», 1967. – 170 с.
8. Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Мхитарян Д. А. Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 1. – С. 110-121. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792
9. Оганесян С. М. К вопросу о построении новой теории сейсмостойкости. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружения. – 2013. – № 5. – С. 26-29.
10. Савин С. Н., Ситников И. В., Данилов И. Л. Современные методы технической диагностики и мониторинга как средство безопасности строительных конструкций. // В мире неразрушающего контроля. – СПб.: Изд. ООО «Свен», 2008. – С. 14-18.
11. Хачиян Э. Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. – Ереван: Изд. «Айастан», 1973. – 327 с.
12. Хачиян Э. Е. Сейсмические воздействия и прогноз поведения сооружений. – Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2015. – 555 с.
13. 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. – 2012. – 23 p. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x.
14. Giacomo D., Gallipoli M. R., Mucciarelli M., Parolai S. and Richwalski S. M. Analysis and Modeling of HVSR in the Presence of a Velocity Inversion: The Case of Venosa, Italy. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2005. – Vol. 95. No. 6. – pp. 2364-2372.
15. 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.
16. Karapetyan J. K., Gasparyan A. S., Shakhparonyan S. R., Karapetyan R. K. Registration and spectral analysis of waveforms of 10.24.2019 earthquake in the Caucasus using the new IGES-006 seismic sensor. // Russ. J. Earth Sci. – 2020. – Vol. 20. – ES6006. DOI: 10.2205/2020ES000742.
17. 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 on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering, Anchorage. – 2014.
18. Khachian E. Y. A Method of Determination of Dominant Vibration Periods Values for Nonhomogeneous Multilayer Ground Sites. // Horizon Research Publishing Corporation, USA Universal Journal of Engineering Science. – 2013. – Vol. 2.2. – pp. 47-57.
19. Mucciarelli M., Gallipoli M. R., and Arcieri M. The stability of the horizontal-to-vertical spectral ratio of triggered noise and earthquake recordings. // Bull. Seism. Soc. Am. – 2003. – Vol. 93. – pp. 1407-1412.
20. Nakamura Y. On The H/V Spectrum. // The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17. – Beijing. – 2008.

21. Nakamura Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. // World Congress on Railway Research. – Florence: 1997. – pp. 1-7.
22. 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. – Vol. 10. No. 19. – pp. 1670-1674.

References

1. Hayrapetyan H.Yu. Experimental study of dynamic characteristics of a seven-storey residential frame building based on microseismic vibrations. Geology, geocology and resource potential of the Urals and adjacent territories: Collection of articles of the VI All-Russian Youth Geological Conference. Ufa, 2018. pp. 189-193. (in Russ.)
2. Anosov G.I., Drobiz M.V., Zinovjev V.N., Sotnikov D.S., Chugaevich V.Ya. Study of the seismic stability of socially important buildings in the city of Kaliningrad. Kazan Science, 2010a. Vol. 2. No. 9. pp. 561-566. (in Russ.)
3. Anosov G.I., Drobiz M.V., Konovalova O.A., Sotnikov D.S., Chugaevich V.Ya. Evaluation of seismic stability of the educational building No. 3 of the Russian State University named after I. Kant using the Nakamura technique. Bulletin of Kamchatka regional association Educational-Scientific center. Earth Sciences, 2010b. Iss. 15 (1). pp. 223-231. (in Russ.)
4. Emanov A.F., Sklyarov L.A. Technology for diagnostics and monitoring of the state of building structures based on the study of microseismic vibrations. About registration of means of mass information: "Preventing accidents buildings and structures". Altai-Sayan Branch of the Geophysical Survey SB RAS. Novosibirsk, 2009. pp. 1-9. (in Russ.)
5. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Melkov D.A. On the possible interrelation of a change in the gravitational field and microseismic fluctuations level with the seismic events. Geology and Geophysics of Russian South, 2016. No. 2. pp. 20-26. (in Russ.)
6. 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.)
7. Karapetyan B.K. Vibration of structures erected in Armenia. Yerevan. Publisher "Hayastan", 1967. 170 p. (in Russ.)
8. Karapetyan J.K., Hayrapetyan H.Yu., Mkhitarian D.A. Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building using mobile seismic station of new generation. Geology and Geophysics of Russian South, 2019. Vol. 9. No. 1. – pp. 110-121. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792 (in Russ.)
9. Hovhannisyan S.M. On the construction of a new theory of seismic resistance. Earthquake resistant construction. Construction safety. – 2013. – № 5. – Pp. 26-29. (in Russ.)
10. 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.)
11. Khachiyan E.Y. Seismic effects on high-rise buildings and structures. Erevan. Publisher "Hayastan", 1973. 327 p. (in Russ.)
12. Khachiyan E.Y. Seismic effects and prediction of the behavior of structures. Yerevan. Publisher "Gitutyun" NAS RA, 2015. 555 p. (in Russ.)
13. 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, 2012. 23 p. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x.
14. Giacomo D., Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Parolai S. and Richwalski S.M. Analysis and Modeling of HVSR in the Presence of a Velocity Inversion: The Case of Venosa, Italy. Bulletin of the Seismological Society of America, 2005. Vol. 95. No. 6. pp. 2364-2372.
15. 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.

16. Karapetyan J. K., Gasparyan A. S., Shakhparonyan S. R., Karapetyan R. K. Registration and spectral analysis of waveforms of 10.24.2019 earthquake in the Caucasus using the new IGES-006 seismic sensor. *Russ. J. Earth Sci.*, 2020. Vol. 20. ES6006. DOI: 10.2205/2020ES000742.

17. 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 on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering, Anchorage, 2014.

18. Khachian E. Y. A Method of Determination of Dominant Vibration Periods Values for Nonhomogeneous Multilayer Ground Sites. Horizon Research Publishing Corporation, USA Universal Journal of Engineering Science, 2013. Vol. 2.2. pp. 47-57.

19. Mucciarelli M., Gallipoli M. R., and Arcieri M. The stability of the horizontal-to-vertical spectral ratio of triggered noise and earthquake recordings. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 2003. Vol. 93. pp. 1407-1412.

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

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

22. 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. Vol. 10. Vol. 19. pp. 1670-1674.