

УДК 550:34

DOI: [10.46698/VNC.2022.25.25.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.25.25.005)

Оригинальная статья

Исследование динамических характеристик многопролетного моста в Ереване по микросейсмическим колебаниям

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

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: 19.04.2022, доработана: 23.05.2022, принята к публикации: 04.06.2022

Резюме: Актуальность работы. Изучение поведения сооружений в натурных условиях и сравнительный анализ их динамических характеристик является важной задачей как для научно-исследовательских целей, так и для прикладных, в частности для мониторинга их технического состояния, паспортизации. Задача является актуальной в особенности на территории Армении, учитывая высокую сейсмичность региона. В работе приводятся результаты экспериментальных исследований динамических характеристик многопролетного моста «Победы» от записей микросейсм с помощью специально разработанных в ИГИС НАН РА сейсмических приборов. Мост находится в Центре Еревана и имеет важное стратегическое значение для работы транспортной системы города. Выбор данного моста для исследования был осуществлен с учетом того, что до этого на нем проводились эксперименты для выявления его динамических характеристик. Довольно долгое время на этом сооружении не проводились подобные научно-исследовательские работы. **Целью работы** является проверка фактического состояния несущих элементов моста, сравнение фактических на сегодняшний день и ранее определенных динамических характеристик исследуемого моста. **Методы работы.** Используемая нами методика изучения поведения сооружений проведена с помощью мобильной сейсмостанции, состоящей из трех приемников – сейсмодатчиков СМ-3 (два горизонтальных и один вертикальный компонент), а также логгера производства ИГИС НАН РА, оснащенного беспроводной сетью (Wi-Fi), которая обеспечивает связь с портативным компьютером. На 6-ти характерных точках моста, а также на грунте основания проводились измерения микросейсм. Определялись частоты колебаний несущих элементов моста и грунтов в поперечном, продольном и вертикальном направлениях. Измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунтов и моста были вызваны только естественными микросейсмами. **Результаты работы.** В результате исследования проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных величин динамических характеристик и ранее полученных данных. В итоге было установлено, что обретенные новые величины частот микроколебаний моста в поперечном и продольном направлениях практически равны приобретенным старым экспериментальным соответствующим значениям частот. Кроме того обнаружены особенности совместной работы сооружения и грунта.

Ключевые слова: микросейсмы, динамические характеристики, несущие элементы моста, спектр Фурье, частоты колебаний сооружений.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке РА в рамках научного проекта № АСН-01/22.

Для цитирования: Карапетян Дж.К., Айрапетян О.Ю., Матевосян Г.М., Карапетян Р.К. Исследование динамических характеристик многопролетного моста в Ереване по микросейсмическим колебаниям. *Геология и геофизика Юга России*. 2022. 12(2): 67-77. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.25.005.

GEOPHYSICS

[DOI: 10.46698/VNC.2022.25.25.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2022.25.25.005)

Original paper

Investigation of the dynamic characteristics of the road bridge in Yerevan by recording microseisms

J.K. Karapetyan^{id}, H.Yu. Hayrapetyan^{id}, G.M. Matevosyan^{id}, R.K. Karapetyan^{id}

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

Received: 19.04.2022, revised: 23.05.2022, accepted: 04.06.2022

Abstract: Relevance. The investigation of the behavior of structures in natural conditions and a comparative analysis of their dynamic characteristics is an important task both for research purposes and for applied, particularly, for monitoring their technical condition and certification. The problem is relevant chiefly on the territory of Armenia, given the intensive high seismicity of the country. The work presents the experimental results of examining the dynamic characteristics of a road bridge from microseismic records using seismic devices especially developed at IGES NAS RA. The bridge is located in the center of Yerevan and has an important significance. This bridge has been selected taking into account the fact that before that, experiments had been carried out on it to identify its dynamic characteristics. But for quite a long time, such research work has not been carried out at this facility. **The aim** of the paper is to check the actual state of the bridge, to compare the actual and previously acquired dynamic characteristics of the investigated bridge. **Methods.** The technique used by us to study the behavior of structures has been performed using a movable seismic station, which consists of 3 receivers - seismic sensors SM-3 (two horizontal and one vertical component), as well as a logger manufactured by IGES NAS RA, equipped with a wireless network (Wi-Fi), which provides communication with laptop computer. At 6 characteristic points of the bridge, as well as on its soil, the measurements of micro tremors have been carried out. The vibration frequencies of the bridge and soils in the transverse, longitudinal and vertical directions have been determined. The measurements have been made at night so that the vibrations of the soil and the bridge were caused only by natural microseisms. **Results.** As a result, a comparative analysis of the gained experimental values of dynamic characteristics and formerly obtained data has been executed. In the issue, it was found that the acquired new values of the frequencies of microseismic vibration of the bridge in the transverse and longitudinal directions are practically equal to the acquired old experimental corresponding frequencies. In addition, features of the joint work of the structure and soil have been found.

Keywords: microseisms, dynamic characteristics, bridge, Fourier spectrum, vibration frequencies of structures.

Acknowledgments: The work was supported by the Science Committee of RA, in the frames of the research project № ACH-01/22.

For citation: Karapetyan J.K., Hayrapetyan H.Yu., Matevosyan G.M., Karapetyan R.K. Investigation of the dynamic characteristics of the road bridge in Yerevan by recording microseisms. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii* = *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2022. 12(2): 67-77. DOI: 10.46698/VNC.2022.25.25.005.

Введение

Мосты представляют собой сооружения, перекрывающие пересекаемый барьер и прерывающие земляное полотно дороги. Исследуемый мост «Победы» является семипролётным арочным железобетонным, у которого перекрывают русло реки три центральных пролёта. Мост состоит из пролетных строений, поддерживающих

проезжую часть с тротуарами, и опор, передающих нагрузку от пролетных строений на грунт. В зависимости от материала, из которого сделаны пролетные строения, мосты бывают каменными, металлическими, бетонными, железобетонными и деревянными.

В наших предыдущих работах мы изучали динамические характеристики зданий, их фактическое состояние, а также сопоставляли полученные результаты с аналогичными данными, ранее полученными отечественными учеными [Карапетян и др., 2021]. Тем временем, изучая научные труды Б.К. Карапетяна, возник интерес выполнить сравнительный анализ динамических характеристик одного из сооружений, которое было ранее изучено [Карапетян, 1967].

Б.К. Карапетяном были испытаны следующие сооружения: дымовая труба Ереванской ТЭЦ, автодорожные мосты в Ереване через реку Раздан и в Аштараке через реку Кацах, а также башня Ереванского телецентра. В результате этих экспериментов были определены динамические характеристики сооружений [Карапетян, 1967].

В этих экспериментах динамические характеристики сооружений определялись экспериментальным способом при помощи микроколебаний зданий, которые были вызваны микросейсмическими воздействиями, и путем испытания зданий с применением специальной вибромашины, а также при сейсмовзрывных воздействиях. После 1967 года в течение долгого времени подобные исследования на этих сооружениях не проводились. Периодические исследования, определение динамических характеристик сооружений, особенностей и закономерностей спектрального состава их колебаний, а также сопоставление с ранее полученными данными имеют важное значение для сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии [Оганесян, 2013].

Из вышеупомянутых сооружений, нами был выбран автомобильный мост «Победа», на котором были выполнены микросейсмические исследования для выяснения его фактического состояния, а также проведено сравнение их со старыми данными.

В работе Б.К. Карапетяна Разданский мост «Победа» был испытан и при движении автомобиля по мосту, его резком торможении, и при микроколебании. Грунтами основания опор моста являются базальты. Частота колебаний грунта составила 14 Гц . Колебания моста от микросейсм в поперечном направлении имели частоту равную $3,3 \text{ Гц}$, а в продольном направлении – 5 Гц . При движении автомобиля в поперечном и в продольном направлениях была получена частота в 1 Гц в середине моста и 14 Гц у опоры [Карапетян, 1967].

Описание сооружения. Авторы проекта моста «Победа» в Ереване – инженер С. Овнанян, архитекторы А. Мамиджаниян и А. Асатрян. Строительство моста началось в 1941 году и осуществлялось во время Второй мировой войны, при этом в строительстве участвовали немецкие военнопленные. Мост был открыт 25 ноября 1945 года, и являлся крупнейшим инженерным сооружением военного времени в Армянской ССР [Акопян, 1977].

Мост семипролётный арочный железобетонный, имеет 3 центральных пролёта, перекрывающих русло реки (рис. 1). Надсводное строение центральных пролётов выполнено в виде системы поперечных стенок, завершенных сводиками. По ширине пролётное строение разбито на три самостоятельных элемента, объединенных общей проезжей частью. Облицовка из базальта, обработанного «под шубу»

и чистую теску, усиливает впечатление монументальности [Арутюнян и др., 1955]. Длина моста составляет 200 м, ширина – 25 м, высота над уровнем реки – 34 м.

Мост предназначен для движения автомобильного транспорта и пешеходов. Проезжая часть включает в себя 8 полос для движения автотранспорта. Перильное ограждение, выполненное из элементов чугунного художественного литья, заканчивается на устоях каменным парапетом (архитекторы С. Сафарян, Г. Агабабян, скульптор А. Сарксян). Над опорами поставлены каменные колонны-столбы, украшенные фонарями [Арутюнян и др., 1955].

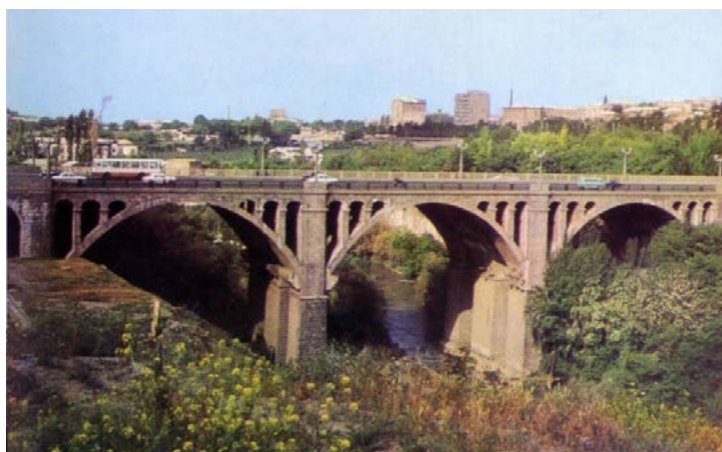


Рис. 1. Исследуемый мост «Победы», вид из Разданского ущелья /

Fig. 1. Investigated Victory Bridge, view from the Hrazdan Gorge

Задача исследования: определение периодов колебаний многопролетного моста «Победы» в городе Ереван и диагностика фактического состояния сооружения, сопоставление его фактических динамических характеристик со старыми экспериментальными значениями, и кроме того сравнение с доминирующими периодами грунтов его основания.

Методика исследования

Методика изучения поведения сооружения осуществлялась с помощью мобильной сеймостанции, которая состоит из 3-х сейсмодатчиков СМ-3 – двух горизонтальных и одного вертикального компонента, общего блока (логгер) преобразования, управления и регистрации производства ИГИС НАН РА, снаряженного беспроводной сетью (рис. 3). Частота записи – 200 отсчетов в секунду [Карапетян и др., 2021; Karapetyan et al., 2021].

Сейсмодатчики были поставлены в шести основных точках моста, а также на грунте основания (рис. 2). Измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунта и сооружения были обусловлены только естественными микросейсами.

Одним из важных преимуществ микросейсмических исследований является то обстоятельство, что число микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, очень велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большую информацию для анализа. При этом эта методика может быть использована для массовых исследований в различных периодах эксплуатации зданий и сооружений [Аносов и др., 2010; Еманов,

Скляр, 2009; Заалишвили и др., 2016; Савин и др., 2008; Хачиян, 2015; Юдахин, 2010; Ditommaso et al., 2012; Giacomo et al., 2005; Kapustian et al., 2013; Kawase et al., 2014; Khachian et al., 2013; Mucciarelli, 2003; Nakamura, 1997, 2008; Zaalishvili et al., 2016].



Рис. 2. Исследуемый мост «Победы», с показом точек, где осуществлялись измерения /

Fig. 2. Investigated Victory Bridge, with the points where the measurements were carried out



Рис. 3. Мобильная сеймостанция производства ИГИС НАН РА /

Fig. 3. Mobile seismic station produced by IGES NAS RA

Результаты работы и их обсуждение

Во всех исследуемых точках сооружения и грунта его основания определялись частоты колебаний в поперечном (X), продольном (Y) и вертикальном (Z) направлениях. Был выполнен спектральный анализ по приобретенным экспериментальным данным инструментальной записи.

Построены спектры Фурье, полученные от измерений микросейсмических колебаний моста. Ниже в графиках приведены спектры Фурье для исследуемых точек

(рис. 4–9). Определены динамические характеристики (частота, период, амплитуда колебаний) моста и грунта.

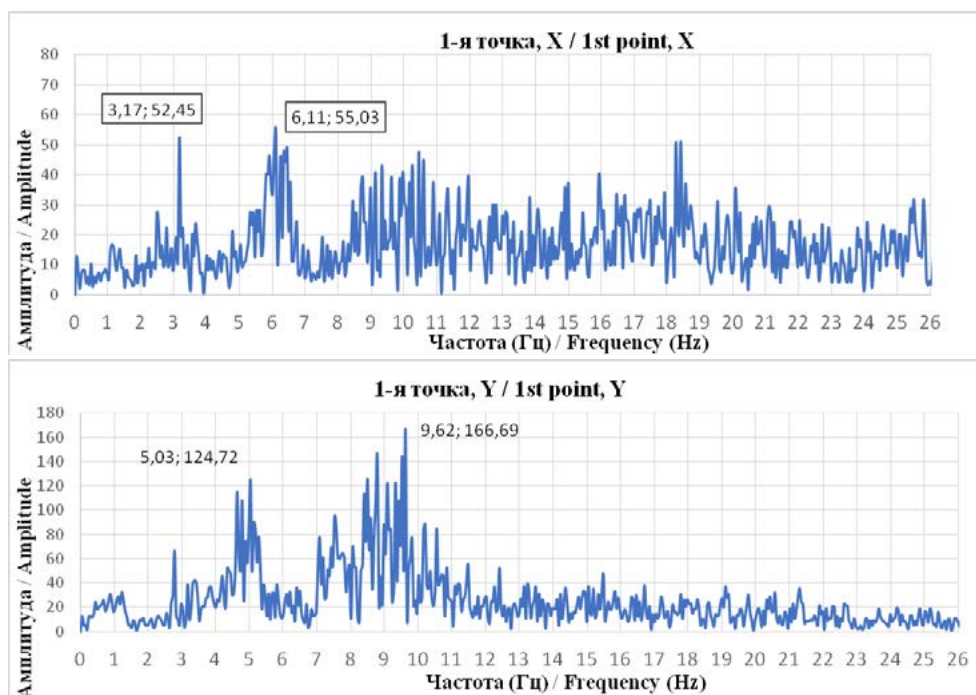


Рис. 4. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм в 1-й точке в X, Y направлениях /

Fig. 4. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the 1st point in X, Y directions

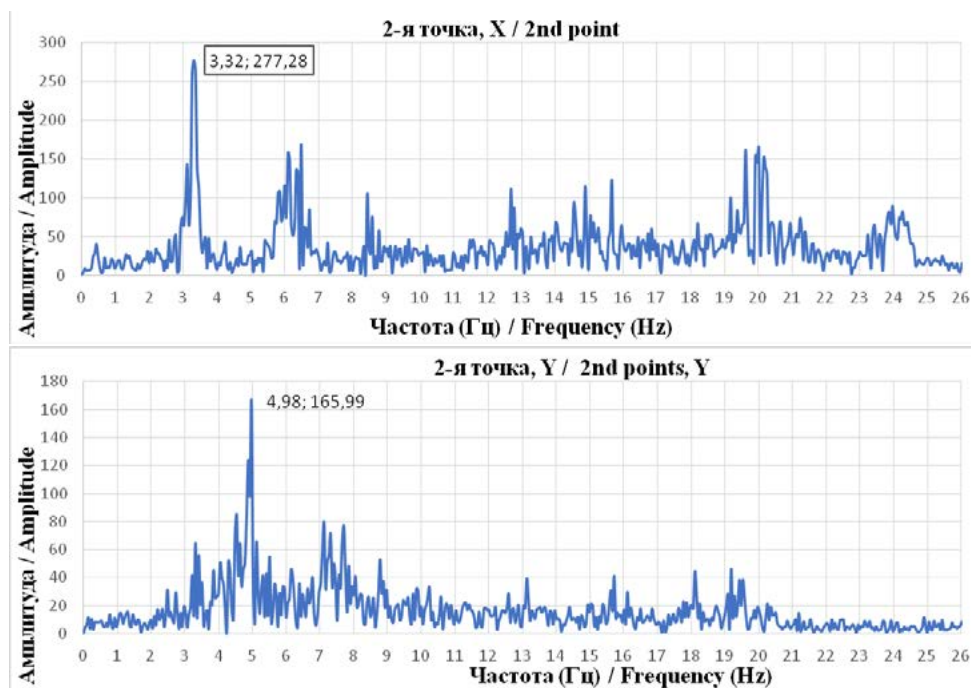


Рис. 5. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм во 2-й точке в X, Y направлениях /

Fig. 5. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the 2nd point in X, Y directions

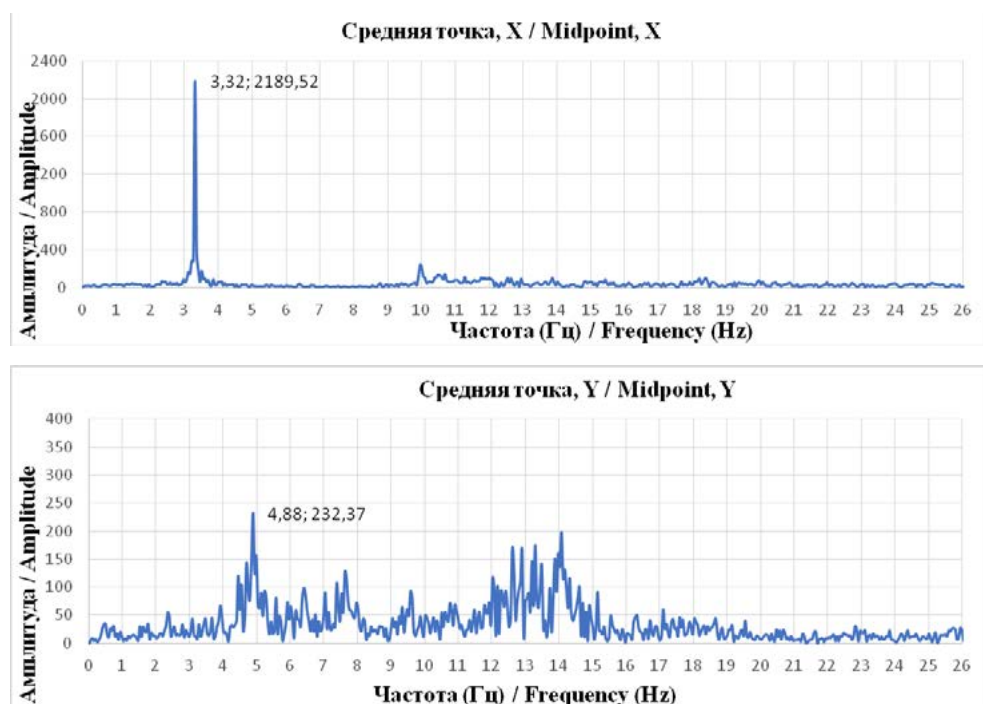


Рис. 6. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм в средней точке в X, Y направлениях /

Fig. 6. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the midpoint in X, Y directions

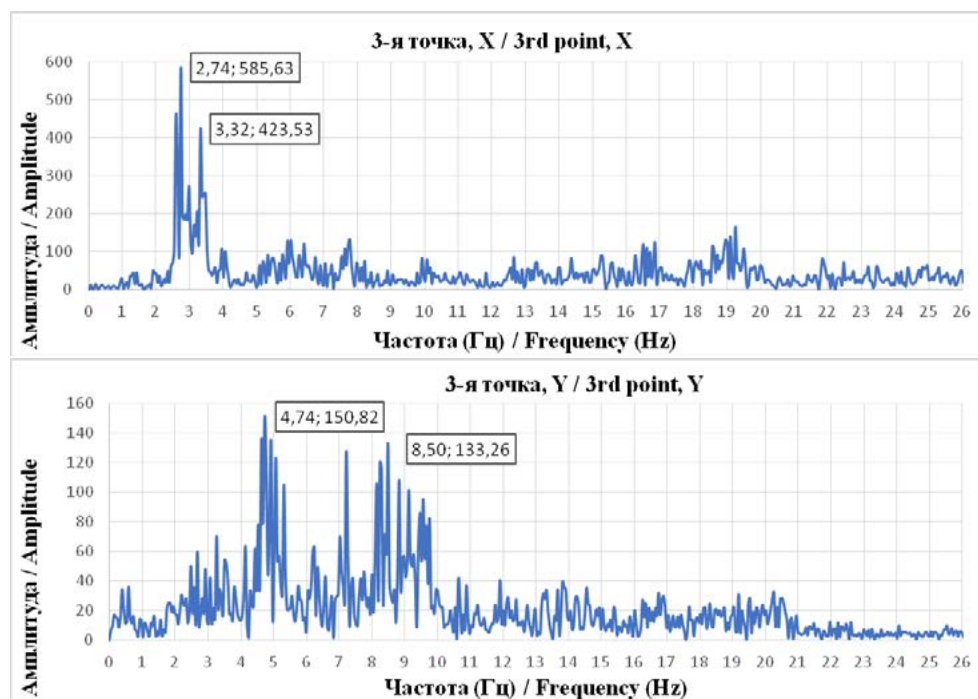


Рис. 7. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм в 3-й точке в X, Y направлениях /

Fig. 7. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the 3rd point in X, Y directions

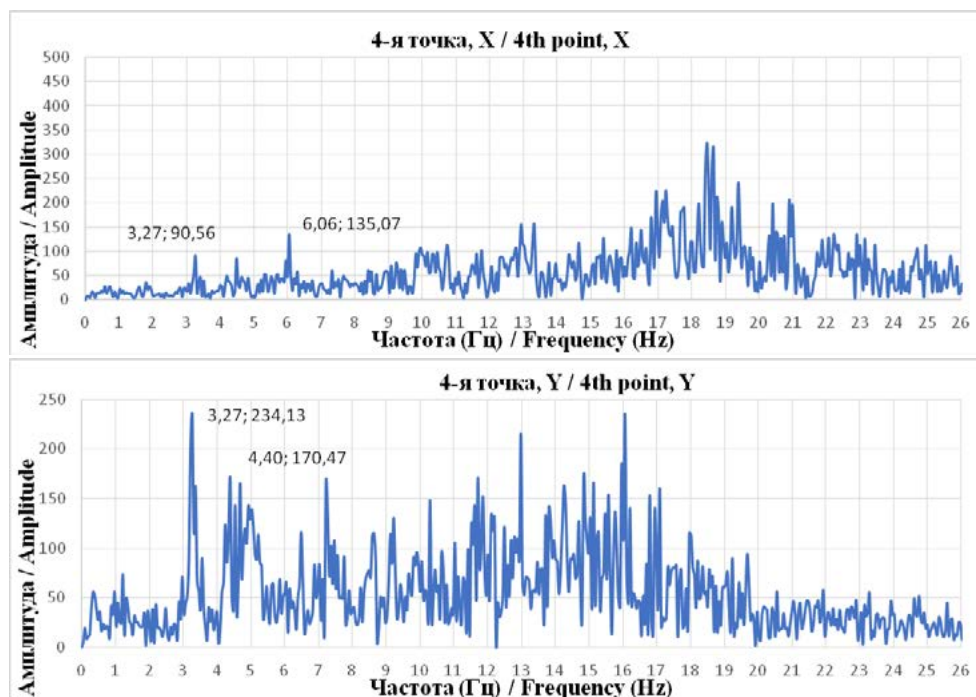


Рис. 8. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм в 4-й точке в X, Y направлениях /

Fig. 8. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the 4th point in X, Y directions

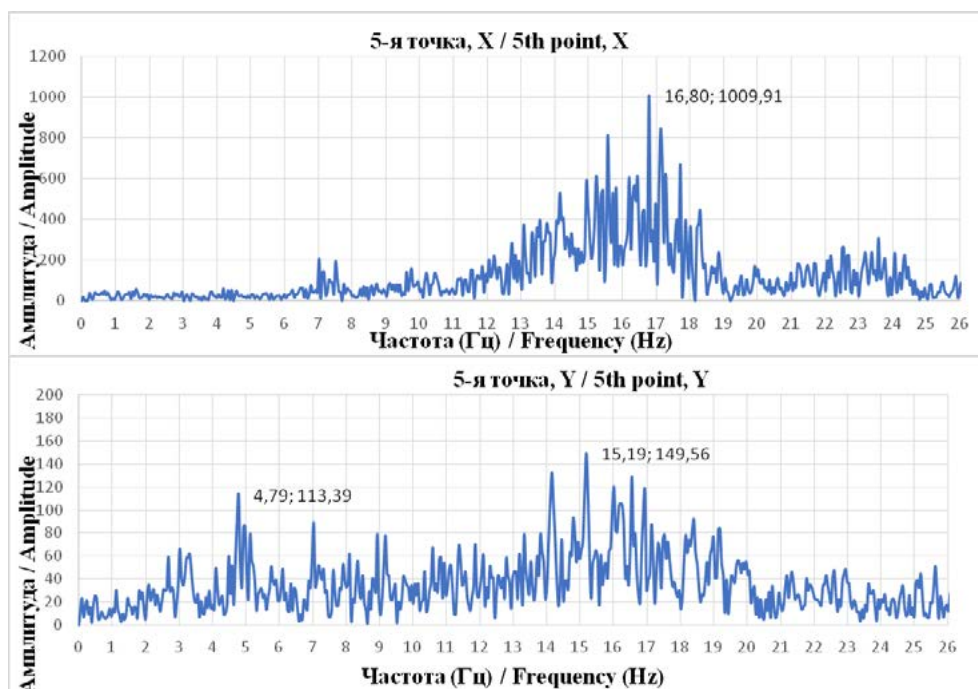


Рис. 9. Спектры Фурье, построенные от записей микросейсм в 5-й точке в X, Y направлениях /

Fig. 9. Fourier spectra built according tomicroseisms records at the 5th point in X, Y directions

ВЫВОДЫ

Наблюдения для исследуемого моста показали, что в разных точках проявляются различные преобладающие частоты колебаний, но есть основной тон частот, который во всех точках выражается, в частности, в поперечном направлении моста

(X) в среднем равный **3,3 Гц** (период – **0,303 с.**), а в продольном направлении (Y) в среднем – **4,9 Гц** (период – **0,204 с.**). В середине моста, то есть, наверху арки наблюдаются такие же частоты, но с ярко выраженным пиком спектра и, собственно, большим значением амплитуды, особенно в поперечном направлении (X).

5-я точка измерения находится на крайней опоре, что в свою очередь является огромным массивом, расположенным на грунте. Частоты в этой точке получились в поперечном направлении моста (X) **16,8 Гц** (период – **0,06 с.**), а в продольном направлении (Y) – **15,2 Гц** (период – **0,066 с.**), что ближе к частотам грунта основания опоры.

Колебания грунта происходили с частотой **15,4 Гц** (период – **0,065 с.**) в поперечном направлении (X) и **16,8 Гц** (период – **0,06 с.**) в продольном направлении (Y), что характерно для базальтовых грунтов.

В результате выяснилось, что приобретенные новые величины частот микросейсмических колебаний моста в поперечном и продольном направлениях почти равны полученным в работе [Карапетян, 1967] старым экспериментальным соответственным значениям частот.

Литература

1. Акопян Т.Х. Очерк истории Еревана. – Ереван: Изд-во Ереванского университета, 1977. – 492 с.
2. Аносов Г.И. и др. Исследование сейсмической устойчивости общественно важных зданий города Калининграда. // «Казанская наука» Сборник научных статей. – 2010. – №9(2). – С. 561–566.
3. Арутюнян В.М., Оганесян К.Л. Архитектура Советской Армении: Краткий очерк. – Ереван: Изд-во Акад. наук Арм. ССР, 1955. – 296 с.
4. Еманов А.Ф., Скляров 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. Карапетян Б.К. Колебание сооружений возведенных в Армении. – Ереван: Изд. «Айастан», 1967. – 170 с.
7. 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). – С. 103–114. DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009.
8. Оганесян С.М. К вопросу о построении новой теории сейсмостойкости. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружения. – 2013. – №5. – С. 26–29.
9. 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.
10. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия и прогноз поведения сооружений. – Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2015. – 555 с.
11. Юдахин Ф.Н. Микросейсмические колебания – важный источник информации. // Вестник Уральского отделения РАН. – 2010. – №3. – С. 65–73.
12. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and time frequency analyses. // Bulletin of Earthquake Engineering. – 2012. – 23 p. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x.

13. 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.
14. 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.
15. Karapetyan J.K., Li Li, Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. // *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. – 2021. – Vol. 95(supp. 1). – pp. 55–58.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Nakamura Y. On The H/V Spectrum. // *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17. – Beijing*. – 2008.
20. Nakamura Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. // *World Congress on Railway Research. – Florence: 1997*. – pp. 1–7.
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. – Vol.10. No.19. – pp. 1670–1674.

References

1. Akopyan T.Kh. Essay on the history of Yerevan. Yerevan. Yerevan University. 1977. 492 p. (In Russ.)
2. Anosov G.I., Drobiz M.V., Zinoviev V.N. et al. Research of seismic stability of socially important buildings of the city of Kaliningrad. “Kazan Science” digest. 2010. Vol. 9. No. 2. pp. 561–566. (In Russ.)
3. Arutyunyan V.M., Oganessian K.L. Architecture of Soviet Armenia: A Brief Essay. Yerevan: Acad. Sciences Arm. SSR. 1955. 296 p. (In Russ.)
4. Emanov A.F., Sklyarov L.A. Technology for diagnosing and monitoring the state of building structures based on the study of microseismic vibrations. The registration of the mass media, Prevention of accidents in buildings and structures. 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. DOI: 10.23671/VNC.2016.2.20804. (In Russ.)
6. Karapetyan B.K. Vibration of structures erected in Armenia. Yerevan. Hayastan. 1967. 170 p. (In Russ.)
7. Karapetyan J.K., Hayrapetyan O.Yu., Matevosyan G.M., Karapetyan R.K. Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 103–114. DOI: 10.46698/VNC.2021.70.17.009. (In Russ.)
8. Oganessian S.M. About a new theory of seismic resistance. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2013. No. 5. pp. 26–29. (In Russ.)

9. Savin S.N., Sitnikov I.V., Danilov I.L. Modern methods of technical diagnostics and monitoring as a means of safety of building structures. In the world of non-destructive testing. Saint Petersburg. Sven. 2008. pp. 14–18. (In Russ.)
10. Khachiyani E.E. Seismic effects and prediction of the behavior of structures. Yerevan. Gitutyun. NAS RA. 2015. 555 p. (In Russ.)
11. Yudakhin F.N. Microseismic vibrations are an important source of information. Bulletin of the Ural Branch of RAS. 2010. No. 3. pp. 65–73. (In Russ.)
12. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and time frequency analyses. Bulletin of Earthquake Engineering. 2012. 23 p. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x.
13. 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.
14. 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.
15. Karapetyan J.K., Li Li, Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. Acta Geologica Sinica (English Edition). 2021. Vol. 95. supp. 1. pp. 55–58.
16. 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.
17. 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.
18. Mucciarelli M., Gallipoli M.R., 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.
19. Nakamura Y. On The H/V Spectrum. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17. Beijing. 2008.
20. Nakamura Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research. Florence. 1997. pp.1–7.
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. Vol.10. No.19. pp. 1670–1674.