

УДК 699.842

С. В. СУХАНОВ¹, канд. техн. наук, нач. отдела инновационного развития;
А. Н. ШИПУНОВ¹, нач. тематического отдела; **И. В. ШКОДА**, асс. кафедры теории сооружений и технической механики², аспирант³; **Л. Ю. ТЯГУНОВА²**, ст. преподаватель кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии;
В. В. КУВАЛОВ², магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; **П. А. ХАЗОВ²**, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, заведующий лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВИБРОСОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ

¹АО «Арзамасское научно-производственное предприятие «ТЕМП-АВИА»

Россия, 607220, г. Арзамас, ул. Кирова, 26. Тел.: (83147) 71335; эл. почта: rao@temp-avia.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-94;
эл. почта: tyagunovaly@yandex.ru

³Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76.

Ключевые слова: вибрация, колебания, строительные конструкции, акселерометр, частота колебаний, амплитуда колебаний, максимальные перемещения.

Приводятся данные по вибросостоянию различных конструкций общественного здания, полученные по результатам измерений уровня колебаний блоком акселерометров. Моделируются различные режимы передвижения группы людей, соответствующие эксплуатации и экстренной эвакуации. Приводится разложение по частотным диапазонам, сравнение полученных данных с требованиями нормативных документов.

Введение

Неучтенные и неспрогнозированные вибрации и колебания могут являться опасными в конструкциях различного инженерного назначения: деталях машин и механизмов, приборах, элементах летательных аппаратов и других механических системах, подверженных влиянию динамических нагрузок и возбуждений [1–10]. Отдельным пунктом могут быть выделены вибрации конструкций зданий и сооружений [3–10], поскольку в этом случае имеет место ежедневное взаимодействие с человеком, связанное непосредственно с его жизнедеятельностью.

Поскольку вибрации относятся хоть и к нежелательным, но неизбежным факторам, одной из основных задач современной науки и техники может является их точное измерение и последующая обработка полученной информации [11, 12]. Измерение уровня вибраций преследует следующие цели:

- получение точной информации о вибросостоянии конструкции и сравнение результатов измерения с проектными (расчетными) данными;
- оценка вибросостояния при возникновении неучтенных проектом новых источников динамических возбуждений (например, проложение линий метрополитена, изменение транспортной нагрузки в непосредственной близости и т. п.);
- составление динамического паспорта здания или сооружения;



– измерение вибраций объектов, выполнение расчетной оценки динамического состояния которых затруднительно или невозможно, например, объектов с частично или полностью утраченной проектной документацией, объектов культурного наследия, исторических зданий или сооружений.

Причиной вибраций строительных конструкций могут являться различные природные, техногенные и антропогенные факторы: землетрясения [7–9], ветер [7], движение транспорта [3, 4, 6], аварии и взрывы, строительные работы и т. д. Также существует ряд помещений, причиной вибрации в которых могут стать перемещения людских потоков. Такие помещения и их конструкции, как правило, не предназначены для непрерывного пребывания людей, а выполняют связующую функцию – коридоры, переходы между корпусами, лестницы общественных зданий [13]. Работа таких систем может быть разделена на 3 режима:

– эксплуатационный, при котором передвижение в помещениях осуществляется отдельными людьми или их небольшими группами и не влияет на вибросостояние конструкций;

– режим повышенной нагрузки, при котором в помещения кратковременно выходит большое число людей. Нагрузка в это время приближается к нормативной [14], а может даже превышать ее (например, в часы пик, перед началом и сразу после окончания рабочего дня на предприятиях, во время перемен в учебных заведениях и пр.). Такой уровень нагрузок может существенно сказываться на работе конструкций и требует особого внимания при их расчете и в процессе эксплуатации;

– эвакуационный режим, при котором происходит массовое движение всех людей, находящихся в здании, наружу через одни и те же помещения. Основным отличием данного режима эксплуатации от предыдущего заключается в большей скорости движения людей по путям эвакуации, а значит, в большей динамической интенсивности воздействия людских потоков на конструкции рассматриваемых помещений.

Предметом исследования в настоящей статье является влияние второго и третьего режимов эксплуатации помещений на вибросостояние конструкций.

Материалы и методы

Измерения выполнялись с помощью акселерометра типа ТБА (рис. 1). ТБА – трехосный блок акселерометров с цифровым выходом разработки АО АНПП «ТЕМП-АВИА». Данный датчик измеряет проекции кажущегося линейного ускорения на собственные взаимноортогональные оси. Трехосный акселерометр выполнен по технологии МЭМС (микромеханических систем). Микромеханические детали акселерометра изготавливаются по высокопроизводительной технологии многоуровневого микропрофилирования монокристаллического кремния.

Для моделирования вышеуказанных режимов перемещения была задействована группа из 13 человек. Для первых измерений группа людей перемещалась шагом, собравшись плотной толпой, имитируя час-пик. При втором измерении проход осуществлялся легким бегом, что соответствует скорости потока людей при эвакуации. Акселерометр устанавливался в точках с ожидаемым наибольшим значением перемещений.

Объектом исследования были выбраны «путевые» конструкции корпусов ННГАСУ, а именно отапливаемый переход между I и IV корпусами (рис. 2), парадная лестница I корпуса (рис. 3а), лестница II корпуса (рис. 3б). В зависимости от ориентации изучаемой конструкции менялась и ориентация осей акселерометра (рис. 2, 3).



Результаты исследования

Результаты измерений в каждой точке за весь период времени наблюдений, а также их масштабное изображение в периоды пиковых колебаний представлены на рис. 4–7.

На рис. 8–11 приведены диаграммы разложения колебаний по собственным частотам в моменты пиковых перемещений. На диаграммах количество колебаний с определенной частотой выражено в процентах от общего количества колебаний, полученных на рассматриваемом участке. На основании диаграмм были определены основные (модальные) и максимальные частоты.

Распределения частот парадной лестницы при всех режимах перемещения близки к нормальному закону, при этом абсолютное значение составляет 13–14 Гц. В переходе и на лестнице II корпуса нельзя выделить какую-либо основную частоту, распределение частот является практически равномерным. Это говорит о том, что при перемещении людей в данных расчетных ситуациях нельзя свести сложное хаотичное воздействие к упрощенному (резонансному) воздействию одной частоты.

Также были определены амплитуды виброперемещений. В первом приближении характер колебаний принимался квазигармоническим, удовлетворяющим закону:

$$z(t) = Z \cdot \cos(\omega t), \quad (1)$$

где z – виброперемещение; Z – максимальная амплитуда колебаний; ωt – начальная фаза колебаний; ω – круговая частота; t – изучаемый момент времени.

Из формулы (1) видно, что закон изменения ускорений имеет вид:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \ddot{z}(t) = -Z\omega^2 \cos(\omega t), \quad (2)$$

откуда максимальное виброускорение $|a_{max}| = Z\omega^2$. По данным акселерограмм (рис. 4–7) могут быть определены экспериментально зафиксированные значения ω и $|a_{max}|$, по которым вычисляется амплитуда:

$$Z = |a_{max}|/\omega^2.$$

Результаты вычислений для каждой точки сведены в таблицу.

Результаты вычислений

Характеристика	Парадная лестница	Лестница II корпуса	Переход, т. 1 (рис. 2б)	Переход, т. 2 (рис. 2б)
Основные частоты, Гц	12 – 14	16, 18	18 – 19, 24	21, 30
Максимальная частота, Гц	17	27	24	33
Максимальное перемещение, мкм	10,7	31,94	7,53	3,98

Выводы

Проведенный анализ показал, что:

1. Частоты вибраций и амплитуды виброускорений не выходят за пределы, ограниченные нормативными документами, что говорит о возможности безопасной эксплуатации рассмотренных конструкций, в том числе при ежедневном использовании.

2. Амплитуды виброперемещений имеют порядок «десятки микрон», что говорит об отсутствии значимых колебаний и невозможности наступления резонанса конструкций при рассмотренных режимах перемещения людей.

К СТАТЬЕ С. В. СУХАНОВА, А. Н. ШИПУНОВА, И. В. ШКОДА,
Л. Ю. ТЯГУНОВОЙ, В. В. КУВАЛОВА, П. А. ХАЗОВА
«ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВИБРОСОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ
В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ»

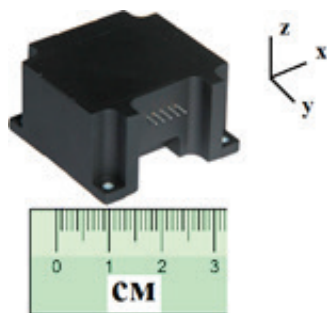
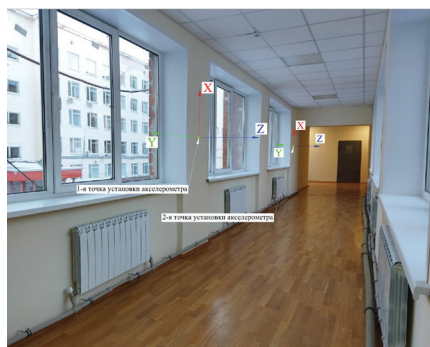


Рис. 1. Внешний вид ТБА

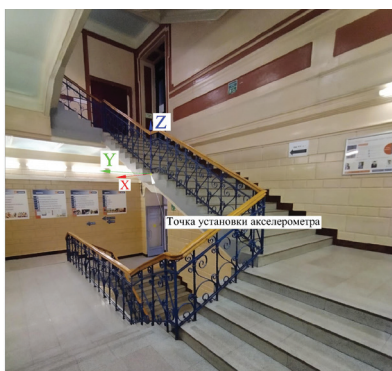


а



б

Рис. 2. Отапливаемый переход: *а* – общий вид; *б* – точки установки акселерометра и ориентация осей



а



б

Рис. 3. Общий вид и точки расположения акселерометра: *а* – на парадной лестнице I корпуса; *б* – лестнице II корпуса

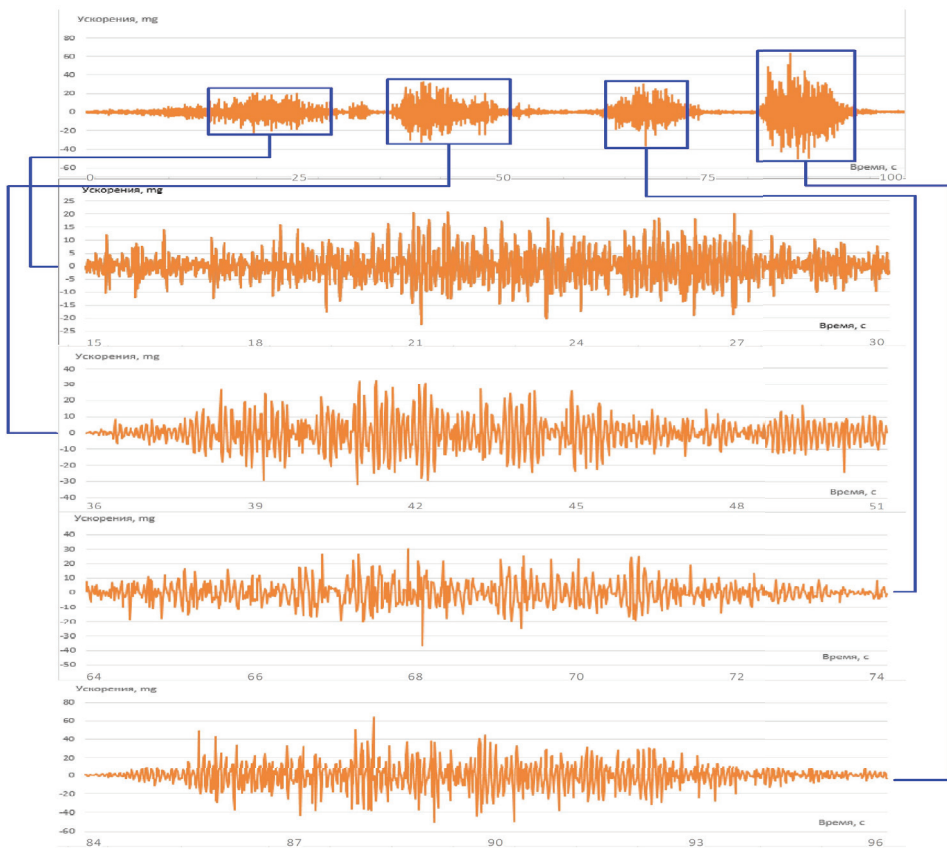


Рис. 4. Акселерограмма вибраций парадной лестницы I корпуса ННГАСУ

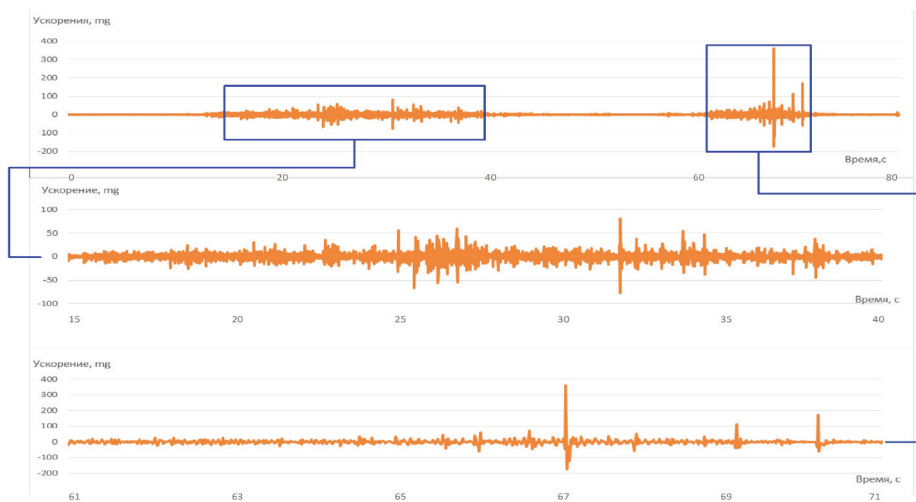


Рис. 5. Акселерограмма вибраций лестницы II корпуса

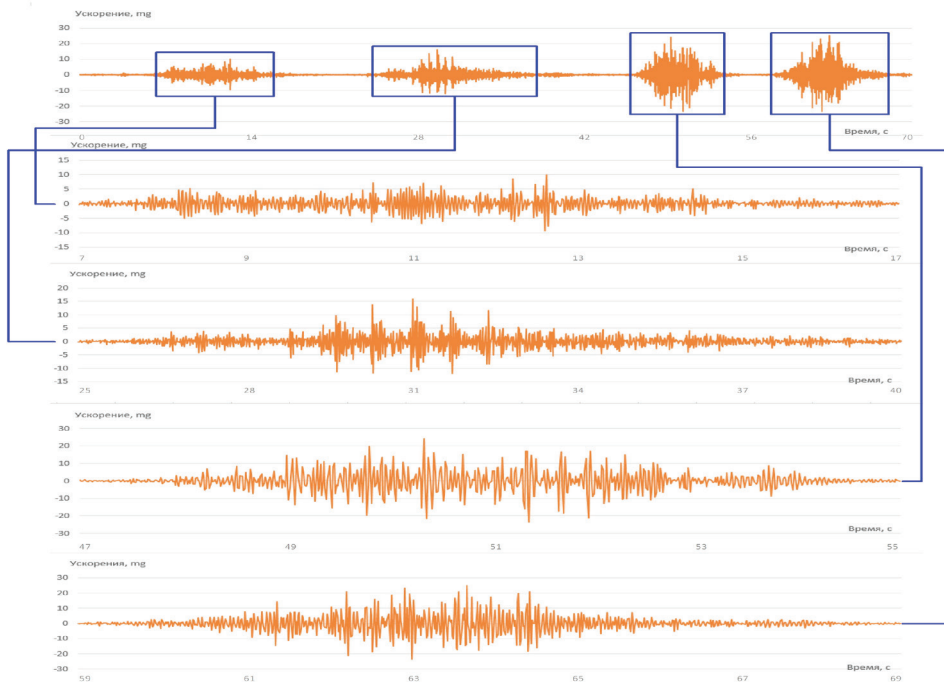


Рис. 6. Акселерограмма вибраций пролетной части перехода, точка крепления прибора 1

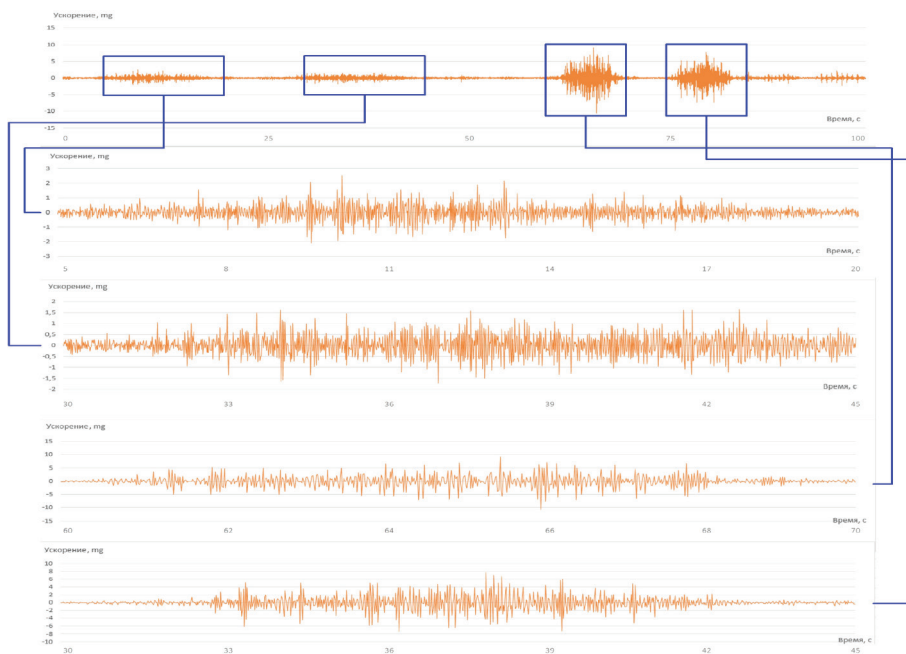
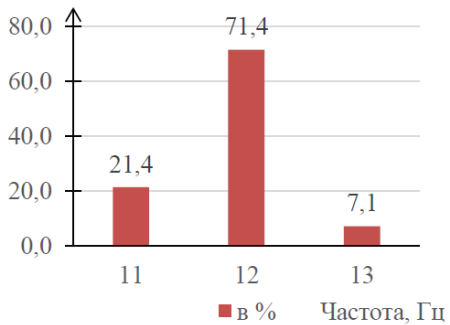
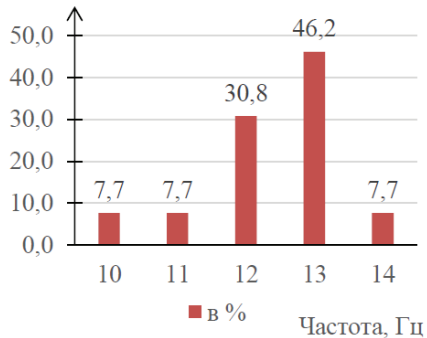


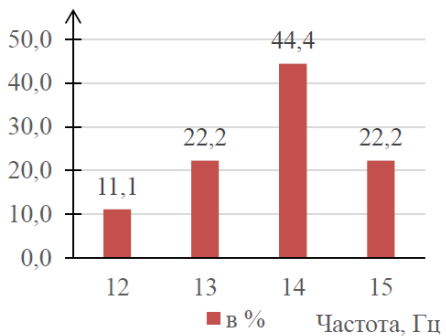
Рис. 7. Акселерограмма вибраций припорной части перехода, точка крепления прибора 2



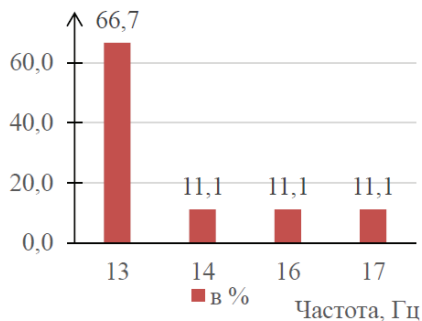
a



б

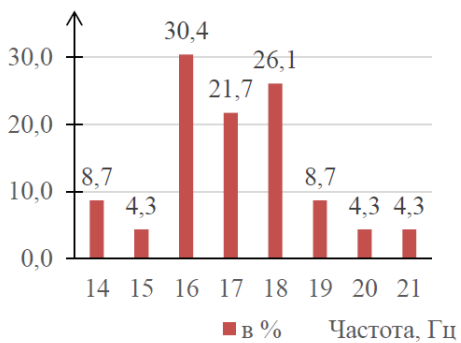


в

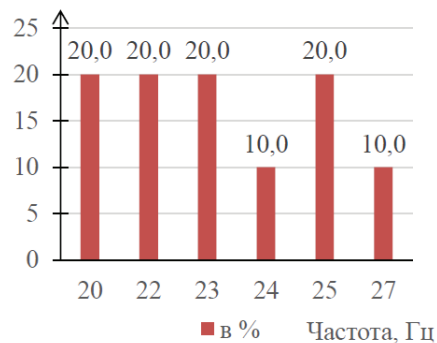


г

Рис. 8. Спектры частот парадной лестницы I корпуса ННГАСУ в пиковые периоды колебаний

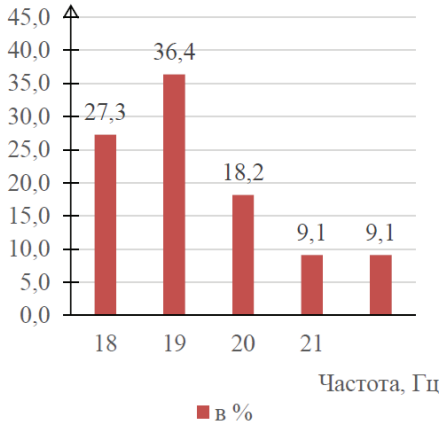


a

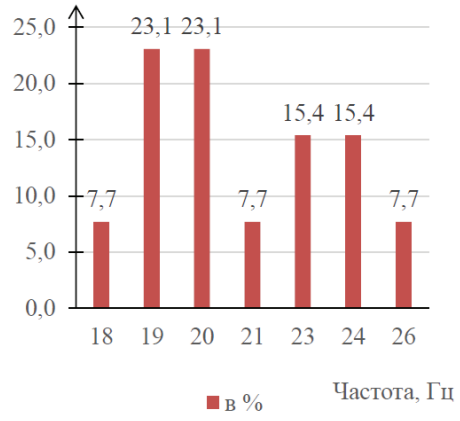


б

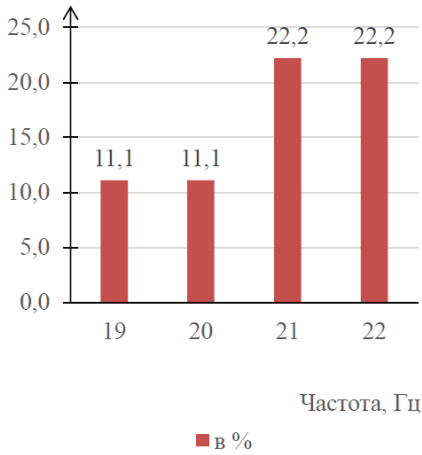
Рис. 9. Спектры частот лестницы II корпуса ННГАСУ в пиковые периоды колебаний



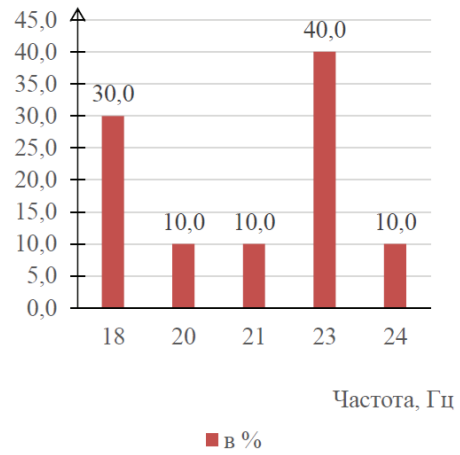
a



б

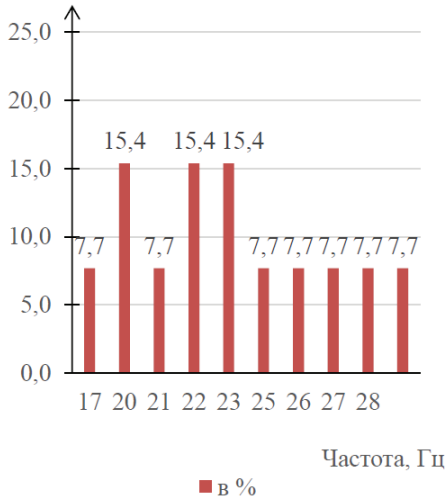


в

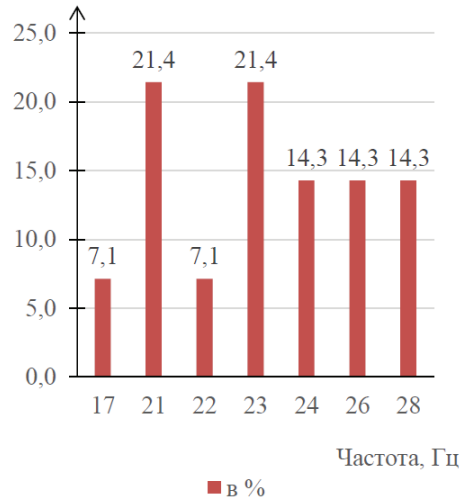


г

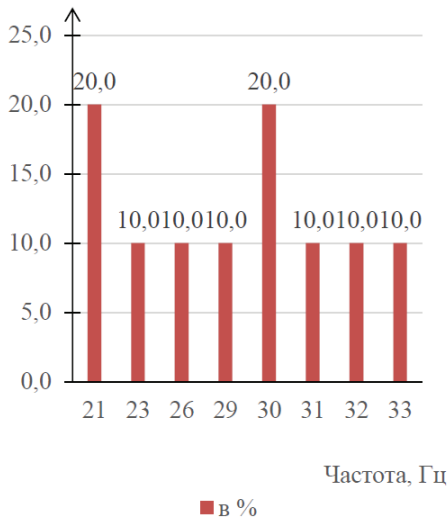
Рис. 10. Спектры частот пролетной части перехода



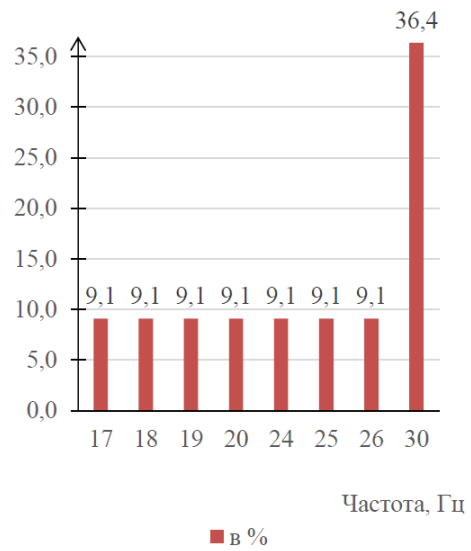
a



б



в



г

Рис. 11. Спектры частот припорной части перехода



3. Для составления более точного динамического портрета конструкций необходимо проведение большого количества исследований с различными режимами перемещения, количеством людей, с возможностью разработки методики прогнозирования резонансных явлений в зависимости от различных факторов и условий, что планируется выполнить в последующих исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – Изд. 4-е. – Москва : Наука, 1987. – 352 с. – Текст : непосредственный.

2. Волновая динамика деформируемых систем, взаимодействующих с упругоинерционными и неоднородными основаниями : монография / В. И. Ерофеев, Д. А. Колесов, А. С. Плехов, П. А. Хазов ; Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 128 с. – Текст : непосредственный.

3. Золина, Т. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3 (29). – С. 24–29.

4. Шутова, О. А. Анализ вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов жилых зданий : специальность 05.23.02 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / О. А. Шутова ; [Место защиты : Волгоградский государственный технический университет]. – Волгоград, 2018. – 17 с. – Текст : непосредственный.

5. Савин, С. Н. Современные методики определения динамических параметров зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ Р 53778-2010 и ГОСТ Р 54859-2011 / С. Н. Савин, И. Л. Данилов. – Текст : непосредственный // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты) / Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС РФ. – Санкт-Петербург, 2013. – № 3 (7). – С. 37–46.

6. Мониторинг вибросостояния здания плотной городской застройки с помощью микроволнового интерферометра / В. И. Ерофеев, И. В. Шкода, Е. Н. Облетов, [и др.] – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – 9–15.

7. Динамика строительных конструкций при экстремальных природных воздействиях: колебания, прочность, ресурс : монография / П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, А. М. Анущенко, А. А. Сатанов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022 – 98 с. – Текст : непосредственный.

8. Назаров, Ю. П. Теория и практика расчетов строительных сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам / Ю. П. Назаров, Ю. Н. Жук, Е. В. Позняк, [и др.] – Текст : непосредственный // Тезисы докладов XI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). – Москва, 2015. – С. 131–132.

9. Хазов, П. А. Резонансный анализ каркасного здания при сейсмических воздействиях различных частотных диапазонов / П. А. Хазов, А. А. Генералова, А. Е. Воробьева – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 4. – С. 56–64.

10. Егупов К. А. Метод построения крутильно-поступательных форм собственных колебаний многоэтажных зданий / К. А. Егупов. – Текст : непосредственный // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Махачкала, 2012. – № 27. – С. 69–76.

11. ГОСТ Р 53964-2010. Вибрация. Вибрация зданий. Измерение вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с. – Текст : непосредственный.

12. СП 413.1325800.2018 Здания и сооружения, подверженные динамическим воздей-



ствиям : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2018 г. № 707/пр : дата введения 8 мая 2019 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403254?ysclid=ld8iofl28e988900855>. – Текст : электронный.

13. Гельфонд, А. Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений : учебное пособие для студентов вузов по специальности "Архитектура" направления подготовки "Архитектура" / А. Л. Гельфонд. – Москва : Архитектура-С, 2006. – 280 с., ил. – ISBN 5-9647-0099-3. – Текст : непосредственный.

14. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : свод правил : утвержден Приказом Минстроя России от 03.12.2016 N 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : дата введения 4 июня 2017 г. : [редакция от 30.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.

SUKHANOV Sergey Valerevich¹, candidate of technical sciences, head of innovation development department; SHIPUNOV Andrey Nikolaevich¹, head of the thematic department; SHKODA Irina Vasilevna, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics², postgraduate student³; TYAGUNOVA Lidiya Yurevna², senior teacher of the chair of foundation and engineering geology; KUALOV Viktor Vasilevich², undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; KHAZOV Pavel Alekseevich², candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory of continuous monitoring of technical condition of buildings and structures

INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF THE VIBRATION STATE OF THE STRUCTURES OF A PUBLIC BUILDING DURING THE MOVEMENT OF HUMAN STREAMS IN VARIOUS MODES

¹JSC Arzamas Research and Production Enterprise «TEMP-AVIA»

26, Kirov St., Arzamas, 607220, Russia. Tel.: +7 (83147)-71335; эл. почта: pao@temp-avia.ru

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;

e-mail: tyagunovaly@yandex.ru

³Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”

85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia, Tel.: +7 (831) 432-05-76.

Key words: vibration, oscillation, building construction, accelerometer, oscillation frequency, oscillation amplitude, maximum displacements.

The article presents the data on the vibration state of various structures of a public building, obtained from the results of measurements of the level of vibrations by an accelerometer unit. Various modes of movement of a group of people are modeled, corresponding to standard operation and emergency evacuation, and sorted out by frequency ranges; the comparison of the obtained data with the requirements of regulatory documents is performed.

REFERENCES

1. Panovko Ya. G., Gubanova I. I. Ustoychivost i kolebaniya uprugikh system. Sovremennyye kontseptsii, paradoksy i oshibki [Stability and oscillations of elastic systems. Modern concepts, paradoxes and errors]. Izd. 4-e. Moscow : Nauka, 1987. – 352 p.

2. Erofeev V. I., Kolesov D. A., Plekhov A. S., Khazov P. A. Volnovaya dinamika



deformiruemykh sistem, vzaimodeystviyuschikh s uprugoinertsionnymi i neodnorodnymi osnovaniyami [Wave dynamics of deformable systems interacting with elastic-inertial and inhomogeneous bases] : monografiya. Nizhegorod. gos. tekhn. un-t im. R.E. Alekseeva. Nizhny Novgorod, 2018. 128 p.

3. Zolina T. V., Kupchikova N. V. Issledovanie vliyaniya vibratsionnykh vozdeystviy ot avtotransporta na sostoyanie konstruktsiy fundamenta zhilogo zdaniya [Investigation of the influence of vibration effects from motor vehicles on the condition of the foundation structures of a residential building] / Inzhenerno-stroitelny vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. – 2019. – № 3(29). – P. 24–29.

4. Shutova O. A. Analiz vibratsionnogo vozdeystviya avtotransporta na konstruktsii fundamentov zhilykh zdaniy [Analysis of the vibration impact of vehicles on the construction of foundations of residential buildings]: spetsialnost 05.23.02 : avtoref. dis. ... k-ta tekhn. nauk; [Mesto zaschity: Volgogr. gos. tekhn. un-t]. – Volgograd, 2018, 17 p.

5. Savin S. N., Danilov I. L. Sovremennye metodiki opredeleniya dinamicheskikh parametrov zdaniy i sooruzheniy v sootvetstvii s GOST R 53778-2010 i GOST R 54859-2011 [Modern methods for determining the dynamic parameters of buildings and structures in accordance with GOST R 53778-2010 and GOST R 54859-2011] / Prirodnye i tekhnogennye riski (fizikomatematicheskie i prikladnye aspekty) [Natural and man-made risks (physical, mathematical and applied aspects)] / Sankt-Peterburgskiy universitet gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS RF. – Saint-Petersburg, 2013. – № 3 (7). – P. 37–46.

6. Erofeev V. I., Shkoda I. V., Oblyotov E. N., et al. Monitoring vibrosostoyaniya zdaniya plotnoy gorodskoy zastroyki s pomoschyu mikrovolnovogo interferometra [Monitoring of the vibration state of a dense urban development using a microwave interferometer]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 2. P. 9–15.

7. Khazov P. A., Kozhanov D. A., Anuschenko A. M., Satanov A. A. Dinamika stroitelnykh konstruktsiy pri ekstremalnykh prirodnykh vozdeystviyakh: kolebaniya, prochnost, resurs [Dynamics of building structures under extreme natural impacts: vibrations, strength, lifetime]. – Nizhny Novgorod: Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t, 2022 – 98 p.

8. Nazarov Yu. P., Zhuk Yu. N., Poznyak E. V., et al. Teoriya i praktika raschyotov stroitelstva sooruzheniy na seymostoykost po akselerogrammam [The theory and practice of calculating building structures for earthquake resistance according to accelerograms] // Tezisy dokladov XI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seymostoykomu stroitelstvu i seymicheskomu rayonirovaniyu (s mezhdunarodnym uchastiem) [Abstracts of the XI Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation)]. – Moscow – 2015. – P. 131–132.

9. Khazov P. A., Generalova A. A., Vorobyova A. E. Rezonansny analiz karkasnogo zdaniya pri seymicheskikh vozdeystviyakh razlichnykh chastotnykh diapazonov [Resonance analysis of a frame building under seismic influence of various frequency ranges]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. № 4. P. 56–64.

10. Egupov K. A. Metod postroeniya krutilno-postupatelnykh form sobstvennykh kolebaniy mnogoetazhnykh zdaniy [Method of constructing the torsion-translational forms of natural oscillations of multi-storey buildings]. Vestnik Dagestan. gos. tekhn. un-ta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical sciences]. Makhachkala, 2012. № 27. P. 69–76.

11. GOST R 53964-2010 Vibratsiya. Vibratsiya zdaniy. Izmerenie vibratsii sooruzheniy. Rukovodstvo po provedeniyu izmereniy [Vibration. Measurement of vibration in buildings. Guidance on measurement methods]. – Moscow : Standartinform, 2019, 16 p.

12. SP 413.1325800.2018 Zdaniya i sooruzheniya, podverzhennye dinamicheskim vozdeystviyam [The buildings and structures under dynamic actions] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommunal. khoz-va RF ot 7 noyabrya 2018 g. – 707/pr : data vved. 8 maya 2019 g. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/554403254?ysclid=ld8iofl28e988900855>.



13. Gelfond A. L. Arkhitekturnoe proektirovanie obschestvennykh zdaniy i sooruzheniy [Architectural design of public buildings and structures] : ucheb. posobie dlya studentov vuzov po spetsialnosti "Arkhitektura" napravleniya podgotovki "Arkhitektura" – Moscow: Arkhitektura-C, 2006, 280 p., il. – ISBN 5-9647-0099-3.

14. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and effects] : svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministroya Rossii ot 03.12.2016 N 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.1.07-85* : data vved. 4 iyunya 2017 g. : [red. ot 30.05.2022]. – URL: <http://www.consultant.ru>.

© С. В. Суханов, А. Н. Шипунов, И. В. Шкода, Л. Ю. Тягунова, В. В. Кувалов, П. А. Хазов, 2023

Получено: 02.12.2022 г.

УДК [621.18:624.014]+550.34

А. М. АНУЩЕНКО, ст. инженер; А. В. КУЛЬЦЕП, Doctor of engineering (PhD); А. Ю. ЩУКИН, зам. директора

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СИСТЕМ «КАРКАС – КОТЕЛ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПАССИВНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ПРИ КОНТРОЛЬНОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ»

Россия, 195220, г. Санкт-Петербург, ул. Гжатская, д. 9. Тел.: (812) 327-85-99; эл. почта: cvc@cvs.spb.ru

Ключевые слова: система «каркас – котел», сейсмическая нагрузка, физическая нелинейность, упругопластический демпфер, контрольное землетрясение.

Оценка сейсмостойкости сложных конструктивных систем «каркас – котел» с применением стандартных положений строительных сводов правил невозможна. В настоящей статье на примере расчета стального каркаса для парового котла подвесного типа на контрольное землетрясение уровня 7 баллов по шкале MSK-64 рассматривается инженерный подход к решению данной задачи посредством рассмотрения устойчивости отдельных подсистем, для оценки которых, наряду со строительными нормами, используются руководящие технические материалы и документы по проектированию котлов.

При обеспечении безопасной эксплуатации энергетических объектов в условиях сейсмических воздействий необходимо добиваться безаварийной работы технологического оборудования, которое может быть связано со строительными конструкциями. В качестве примера такого оборудования можно привести паровые котлы ТЭС и ГРЭС, которые монтируются к перекрытиям стальных каркасов на специальные подвески (блоки тарельчатых или винтовых пружин и тяги). В данном случае необходимо рассматривать сложную механическую систему «каркас – котел», к оценке сейсмостойкости которой не могут быть применены только стандартные положения строительных сводов правил [1, 2, 3]. При этом нормы, регулирующие расчеты самих котельных агрегатов на сейсмические воздействия [4, 5, 6], не отражают вопросы оценки устойчивости строительных конструкций.

В целях обеспечения сейсмостойкости системы «каркас – котел», а также снижения амплитуды колебаний котлоагрегата на практике нашли широкое применение наиболее простые с точки зрения конструктивного исполнения средства пас-