

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 693

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-165-174

*А.С. ПЛЯСКИН, А.В. МАТВЕЕВ, Б.О. КОШКО, Н.В. ШАБАЛИН,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КАРКАСА ПРИ СЖАТИИ

Исследование динамических параметров на основе модального анализа дает представление о состоянии технической системы с учетом воздействий внешних факторов и собственных свойств.

Цель работы: на основе экспериментальных исследований и численных расчетов установить зависимость динамических параметров железобетонных колонн каркаса от возрастающих напряжений сжатия.

Динамические характеристики здания в виде частот собственных колебаний колонн получены с применением дальномерного виброметра RSV-150. Модальный анализ поведения модели железобетонной колонны при сжатии произведен с использованием программного комплекса ANSYS.

По результатам проведенных натурных и численных исследований получены диаграммы зависимости частоты собственных колебаний железобетонных колонн от величины сжимающих напряжений.

Анализ полученных диаграмм показал, что экспериментально полученные кривые характеризуются ростом частоты собственных колебаний железобетонных колонн при увеличении напряжений сжатия, в отличие от результатов численного эксперимента, демонстрирующих снижение частоты.

Полученные результаты могут быть применены при оценке технического состояния сжатых элементов строительных конструкций на основе модального анализа.

В статье представлены результаты экспериментальных и численных исследований динамических параметров сжатых железобетонных колонн каркаса. Получены зависимости влияния величины сжимающих напряжений на частоту собственных колебаний железобетонных колонн каркаса.

Ключевые слова: железобетонный каркас; колонна; частота собственных колебаний; напряжения сжатия; граничные условия.

Для цитирования: Пляскин А.С., Матвеев А.В., Кошко Б.О., Шабалин Н.В. Экспериментальные и численные исследования динамических свойств железобетонных колонн каркаса при сжатии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 2. С. 165–174.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-165-174

A.S. PLYASKIN, A.V. MATVEEV, B.O. KOSHKO, N.V. SHABALIN,
Tomsk State University of Architecture and Building

DYNAMIC PROPERTIES OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER COMPRESSION

Purpose: The aim of this paper is the experimental studies and numerical calculations of the dynamic parameters of reinforced concrete columns under the increasing compressive stress. **Design/methodology/approach:** A RSV-150 Remote Sensing Vibrometer is used to measure the natural frequency of columns. A detailed 3D finite element model of the reinforced concrete column under the compression is constructed in ANSYS finite element program. **Research findings:** The paper presents the experimental and numerical results of the dynamic parameters of compressed reinforced concrete columns. The dependences are suggested for the reinforced concrete columns between the compressive stress and eigen-frequency. The analysis of the obtained dependencies shows the increase in the eigen-frequency of reinforced concrete columns with the increasing compressive stress, in contrast to the results of numerical calculations demonstrating the frequency decrease. According to the results of the field and numerical studies, the dependences of the eigen-frequency of the reinforced concrete columns on the compressive stresses are obtained. **Practical implications:** The obtained results can be applied in the modal analysis of the technical condition of compressed elements of buildings. **Originality/value:** The modal analysis of dynamic parameters gives an idea of the technical condition of the engineering system with regard to the external effect and the system properties.

Keywords: reinforced concrete column; deformation; compressive stress; boundary conditions.

For citation: Plyaskin A.S., Matveev A.V., Koshko B.O., Shabalin N.V. Eksperimental'nye i chislennye issledovaniya dinamicheskikh svoystv zhelezobetonnykh kolonn karkasa pri szhatii [Dynamic properties of reinforced concrete columns under compression]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 2. Pp. 165–174. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-2-165-174

В настоящее время на стадии проектирования и при обследовании несущих конструкций зданий и сооружений определение динамических параметров регламентируется нормативными документами. Динамические характеристики строительных конструкций являются показателями, учитывающими влияние множества факторов, таких как геометрия, физико-механические свойства материала, граничные условия, напряжённо-деформированное состояние, дефекты и начальные несовершенства. Изменение факторов отражается на динамическом поведении здания, представляющем собой сложную техническую систему. Изучению динамического поведения конструкций посвящено множество работ [1–9].

В статье представлены результаты исследования динамических параметров монолитных железобетонных колонн при возрастающих напряжениях сжатия в процессе возведения здания.

Объектом исследования являлся монолитный железобетонный каркас здания по адресу г. Томск, ул. Красноармейская, д. 119. Размеры здания в плане 33,14×18,4 м. Схема расположения исследуемых колонн представлена на рис. 1, 2.

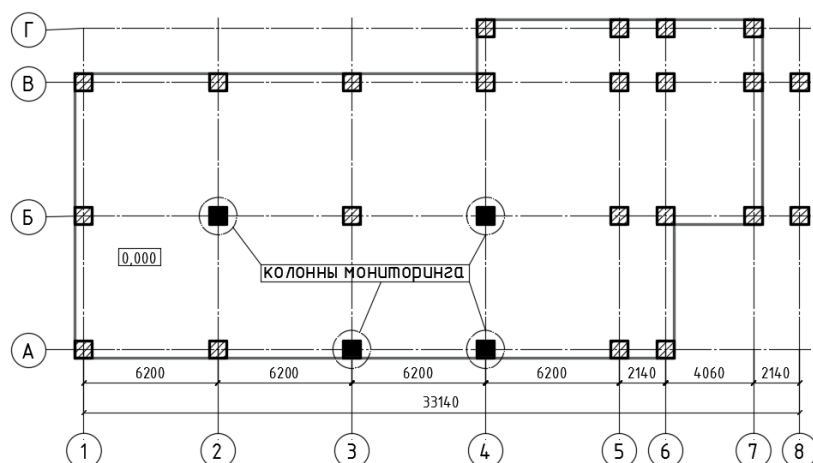


Рис. 1. Схема расположения исследуемых колонн

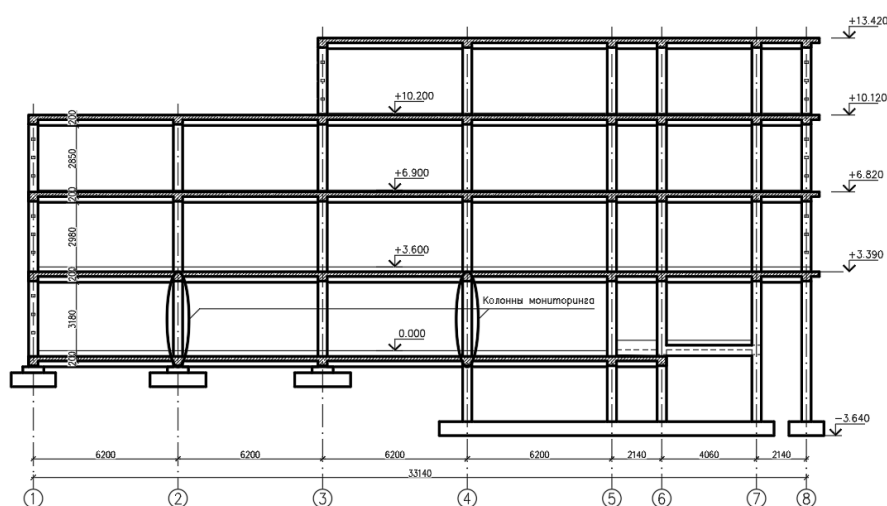


Рис. 2. Схема расположения исследуемых колонн по оси Б

Шаг колонн в поперечном и продольном направлении составляет 6,2 м. Здание в осях А-В/1-3 выполнено 3-этажным, в осях А-Г/3-8 – 4-этажным с высотой этажа 3,3 м.

Каркас здания выполнен из тяжелого бетона класса В25. Перекрытие выполнено монолитным ребристым, с плитами толщиной 200 мм, опертые по контуру. Балки перекрытия, расположенные в продольном направлении, выполнены сечением 450×400 мм, в поперечном направлении 400×400 мм. Колонны квадратного сечения размерами 400×400 мм, длиной 3180 мм. Колонны каркаса армированы в продольном направлении 4 стержнями Ø 25 мм класса А400, в поперечном направлении хомутами Ø 10 мм, арматурой класса А240 с шагом 290 мм (рис. 3).

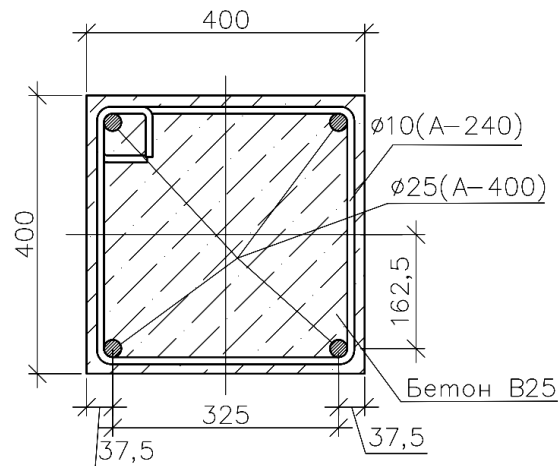


Рис. 3. Схема армирования железобетонной колонны

Для исследований динамических свойств были выбраны колонны первого этажа в осях Б-2, Б-4, А-3 и А-4. Измерение динамических параметров производилось в четыре этапа. Каждому этапу соответствовало устройство конструкций этажа монолитного железобетонного каркаса. Возмущение колебаний колонн производилось ударным воздействием. Динамические параметры в виде виброскоростей и спектров мощности колебаний регистрировались лазерным виброметром RSV-150 в середине высоты колонны. Фактическая прочность бетона на момент испытаний определялась электронным склерометром ОНИКС 2.5. В возрасте 29 сут средняя прочность бетона колонн составила $R = 18,48$ МПа. Сжимающие напряжения на обреш колонн определялись инженерным методом. Результаты проведенных измерений динамических параметров исследуемых железобетонных колонн представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения частот собственных колебаний железобетонных колонн

| Элемент конструкции | Этап проведения измерений | Напряжения сжатия σ , МПа | Частота собственных колебаний f , Гц | σ/R |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|--|------------|
| Колонна А-3 | 1 | 1,056 | 102,53 | 0,06 |
| | 2 | 2,159 | 104,71 | 0,11 |
| | 3 | 3,212 | 106,13 | 0,17 |
| | 4 | 4,265 | 111,94 | 0,23 |
| Колонна А-4 | 1 | 1,056 | 102,53 | 0,06 |
| | 2 | 2,159 | 106,15 | 0,11 |
| | 3 | 3,212 | 108,7 | 0,17 |
| | 4 | 4,265 | 113,71 | 0,23 |

Окончание табл. 1

| Элемент конструкции | Этап проведения измерений | Напряжения сжатия σ , МПа | Частота собственных колебаний f , Гц | σ/R |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|--|------------|
| Колонна Б-2 | 1 | 1,445 | 116,08 | 0,08 |
| | 2 | 2,815 | 122,24 | 0,15 |
| | 3 | 4,256 | 123,48 | 0,23 |
| | 4 | 4,415 | 123,95 | 0,23 |
| Колонна Б-4 | 1 | 1,445 | 117,72 | 0,08 |
| | 2 | 2,815 | 123,43 | 0,15 |
| | 3 | 4,256 | 124,33 | 0,23 |
| | 4 | 5,777 | 126,74 | 0,31 |

По результатам обработки экспериментальных данных построен график зависимости частот собственных колебаний колонн от величины сжимающих напряжений колонн крайнего и среднего рядов (рис. 4).

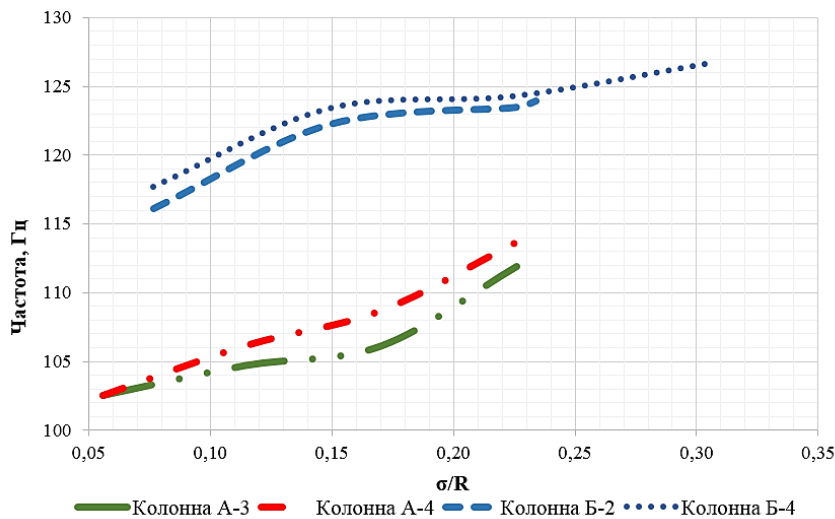


Рис. 4. График зависимостей частоты собственных колебаний колонн от напряжений сжатия

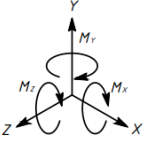

Как видно из графика, рост напряжений сжатия приводит к повышению частот собственных колебаний железобетонных колонн каркаса. На всех четырех этапах нагружения частота собственных колебаний колонн увеличивалась в отличие от общепринятых аналитических зависимостей [10, 11], где частота собственных колебаний снижается с ростом напряжений сжатия. Аналогичные результаты роста частот собственных колебаний сжатых моделей железобетонных и трубобетонных колонн были получены в работах [12–14].

С целью сравнения экспериментально полученных результатов в программном комплексе ANSYS произведен модальный анализ поведения модели сжатой железобетонной колонны при различных граничных условиях.

Расчетная модель соответствовала натурной конструкции колонны и состояла из 12400 объемных конечных элементов, размер которых не превышал 40×40×40 мм. Физико-механические характеристики и вариации граничных условий закрепления концов модели приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики расчетной модели колонны

| Бетон класса В25 | | Арматура класса А400 |
|--|--------------------------|---|
| Плотность $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$ Прочность при сжатии $R_{bn} = 18,5 \text{ МПа}$ Прочность при растяжении $R_{bt} = 1,05 \text{ МПа}$ | | Плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ Временное сопротивление $\sigma_b = 590 \text{ МПа}$ Предел пропорц. $\sigma_{пц} = 350 \text{ МПа}$ |
| Направление связей глобальной системы координат ПК Ansys | Вариант закрепления узла | Ограничения связей |
|  | 1 | в точке приложения нагрузки: X, Z, MY в опорной части: X, Z, Y, MX, MZ, MY |
| | 2 | в точке приложения нагрузки: X, Z, MX, MZ, MY в опорной части: X, Z, Y, MX, MZ, MY |
|  | 3 | в точке приложения нагрузки: X, Z, MY в точках 1-4 и гранях 1-4, 2-3: X, Z, MX, MZ, MY в опорной части: X, Z, Y, MX, MZ, MY |
| | 4 | в точке приложения нагрузки: X, Z, MY в точках 1-4: X, Z, MX, MZ, MY в опорной части: X, Z, Y, MX, MZ, MY |
| | 5 | в точке приложения нагрузки: X, Z, MY в гранях 1-4, 2-3: X, Z, MX, MZ, MY в опорной части: X, Z, Y, MX, MZ, MY |

По результатам упругого расчета для 5 вариаций закрепления узлов колонны получены значения частот и соответствующие им формы колебаний по основному тону (табл. 3).

Таблица 3

Результаты численных исследований модели железобетонной колонны

| Вариант закрепления узла | Этап нагружения | Напряжения сжатия σ , МПа | Частота собственных колебаний f , Гц | σ/R_{bn} |
|--------------------------|-----------------|----------------------------------|--|-----------------|
| Вариант 1 | 1 | 1,03 | 100,21 | 0,06 |
| | 2 | 2,12 | 100,15 | 0,11 |
| | 3 | 3,15 | 100,1 | 0,17 |
| | 4 | 4,18 | 100,04 | 0,23 |
| Вариант 2 | 1 | 1,03 | 139,23 | 0,06 |
| | 2 | 2,12 | 139,2 | 0,11 |
| | 3 | 3,15 | 139,16 | 0,17 |
| | 4 | 4,18 | 139,13 | 0,23 |
| Вариант 3 | 1 | 1,03 | 107,08 | 0,06 |
| | 2 | 2,12 | 107,03 | 0,11 |
| | 3 | 3,15 | 106,98 | 0,17 |
| | 4 | 4,18 | 106,93 | 0,23 |
| Вариант 4 | 1 | 1,03 | 115,05 | 0,06 |
| | 2 | 2,12 | 115,01 | 0,11 |
| | 3 | 3,15 | 114,96 | 0,17 |
| | 4 | 4,18 | 114,92 | 0,23 |
| Вариант 5 | 1 | 1,03 | 100,47 | 0,06 |
| | 2 | 2,12 | 100,41 | 0,11 |
| | 3 | 3,15 | 100,36 | 0,17 |
| | 4 | 4,18 | 100,31 | 0,23 |

Численные исследования динамического поведения модели сжатой железобетонной колонны показали, что изменение граничных условий закрепления концов стойки дает отличия начальных значений частот собственных колебаний в диапазоне 39 Гц. Полученные зависимости для всех вариаций закрепления концов модели имеют ниспадающие значения частот собственных колебаний с ростом напряжений сжатия (рис. 5).

Диапазон снижения частоты собственных колебания модели колонны при проведении численного эксперимента для 5 вариаций граничных условий составил от 0,1 до 0,17 Гц. Рост значений частоты колебаний железобетонных колонн при натурных испытаниях располагался в интервале 8–11 Гц.

Начальные значения частот собственных колебаний колонн крайнего ряда отличаются от значений колонн среднего ряда при их одинаковой кон-

струкции. Различие составляет порядка 14–15 Гц, что говорит о влиянии граничных условиях, т. е. колонны крайнего ряда, расположенные рядом с обрезами фундаментной плиты, имеют меньшую жесткость заделки по сравнению с колоннами центрального ряда.

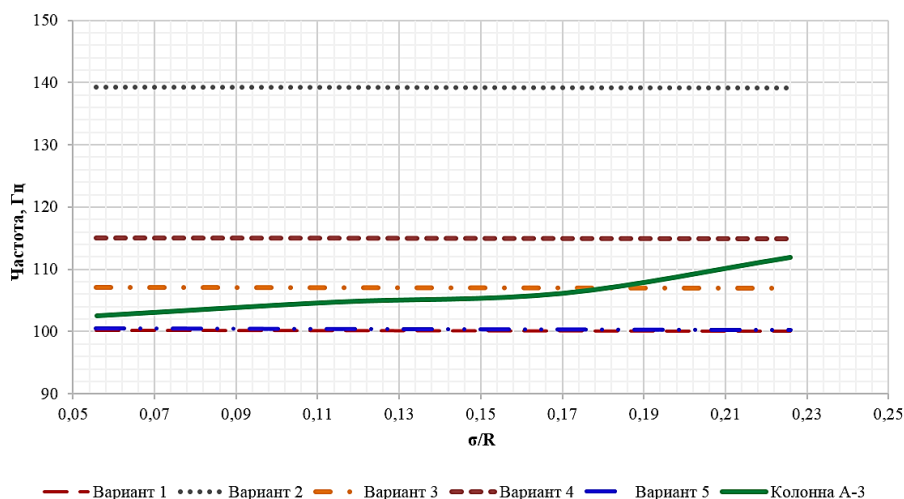


Рис. 5. График зависимости частоты собственных колебаний от величины сжимающих напряжений и граничных условий

Для обоснования роста частот собственных колебаний при увеличении сжимающих напряжений и оценки влияния жесткости заделки концов колонн необходимо проведение ряда дополнительных экспериментальных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Пляскин А.С., Савченко В.И. Биение пространственного каркаса обогатительной фабрики под действием периодических нагрузок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 2. С. 139–143.
2. Галуллин Р.Р., Изотов В.С., Нуриева Д.М. Численные исследования динамических характеристик зданий с железобетонным каркасом // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 2 (16). С. 81–85.
3. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Васильева Е.В. Влияние жесткости колонн на динамические параметры пространственного железобетонного каркаса в процессе ремонта // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2006. № 1. С. 164–169.
4. Савин С.Н. Динамический мониторинг строительных конструкций на примере пандуса киноконцертного зала «Пушкинский» в г. Москве // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7 (33). С. 58–62.
5. Шахраманьян М.А. Локализация мест изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций на основе данных вибро-диагностических изменений // Вестник МГСУ. 2014. № 9. С. 54–66.
6. Золотухин Е.П., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Короленко Д.Б., Нескородев В.Д. Сейсмометрический мониторинг технического состояния несущих строительных конструкций зданий и сооружений по динамическим характеристикам // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. № 1. С. 29–36.

7. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Лоскутова Д.В. Оценка деформированного состояния деревянных конструкций по результатам измерений динамических параметров // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11–12 (659-660). С. 31–38.
8. Чудновский В.Г. Методы расчета колебаний и устойчивости стержневых систем. Киев : Изд-во Академия наук УССР, 1952. 405 с.
9. Кумляк О.Г., Галяутдинов З.Р., Однокопылов Г.И., Пахмурин О.Р. Особенности диагностики нагруженных фундаментов электроприводов газокompрессорной станции без остановки технологических процессов. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (60). С. 114–121.
10. Плевков В.С., Саркисов Д.Ю., Балдин С.В. Анализ параметров колебательных процессов несущего каркаса производственного здания // Строительство и реконструкция. 2017. № 4 (72). С. 47–56.
11. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М. : Наука, 1967. 444 с.
12. Копаница Д.Г., Моисеенко Р.П., Пляскин А.С. Собственные колебания сжатой сталебетонной колонны // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. Т. 371. № 5. С. 259–261.
13. Копаница, Д.Г., Капарулин С.Л., Пляскин А.С. Спектральный анализ физического состояния моделей железобетонных колонн, подверженных осевому сжатию // Бетон и железобетон – взгляд в будущее : научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 т. 2014. С. 179–182.
14. Пляскин А.С., Устинов А.М., Кошко Б.О. Экспериментальные исследования зависимости частоты собственных колебаний железобетонной колонны от величины сжимающей силы // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики : материалы VII Международной научно-практической конференции. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2018. Ч. 1. С. 416–420.

REFERENCES

1. Kopanica D.G., Kaparulin S.L., Pljaskin A.S., Savchenko V.I. Bienie prostranstvennogo karkasa obogatitel'noj fabriki pod dejstviem periodicheskikh nagruzok [Beating of spatial frame of processing plant under dynamic loads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2007. No. 2. Pp. 139–143. (rus)
2. Galiullin R.R., Izotov V.S., Nuriyeva D.M. Chislennyye issledovaniya dinamicheskikh harakteristik zdaniy s zhelezobetonnyim karkasom [Numerical studies of dynamic characteristics of buildings with reinforced concrete frame]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2011. No. 2 (16). Pp. 81–85. (rus)
3. Kopanica D.G., Kaparulin S.L., Vasil'eva E.V. Vliyanie zhestkosti kolonn na dinamicheskie parametry prostranstvennogo zhelezobetonnogo karkasa v processe remonta [Effect of column rigidity on dynamic parameters of reinforced concrete structure during repair]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2006. No. 1. Pp. 164–169. (rus)
4. Savin S.N. Dinamicheskij monitoring stroitel'nykh konstrukcij na primere pandusa kinokoncertnogo zala «Pushkinskij» v g. Moskva [Dynamic monitoring of building structures on the example of the cinema and concert hall "Pushkinsky" in Moscow]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2012. No. 7 (33). Pp. 58–62 (rus).
5. Shahraman'jan M.A. Lokalizacija mest izmenenija naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya stroitel'nykh konstrukcij na osnove dannykh vibro-dagnosticheskikh izmenenij [Localization of stress-strain state of buildings based on vibrodiagnostic changes]. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 9. Pp. 54–66. (rus)
6. Zolotuhin E.P., Kuz'menko A.P., Saburov V.S., Korolenko D.B., Neskorojev V.D. Sejsmometricheskij monitoring tehničeskogo sostojaniya nesushhih stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij po dinamicheskim harakteristikam [Seismic monitoring of technical condition of bearing structures according to dynamic characteristics]. *Vychislitel'nye tehnologii*. 2013. V. 18. No. 1. Pp. 29–36. (rus)
7. Kopanica D.G., Kaparulin S.L., Loskutova D.V. Ocenka deformirovannogo sostojaniya derevjannykh konstrukcij po rezul'tatam izmerenij dinamicheskikh parametrov [Assessment of deformed state of wooden structures according to the measurements of dynamic paramete-

- ters]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2013. No. 11–12 (659–660). Pp. 31–38. (rus)
8. *Chudnovskij V.G.* Metody rascheta kolebanij i ustojchivosti sterzhnevnyh system [Methods for calculating vibrations and stability of core systems]. Akademiya nauk USSR. Kiev, 1952. 405 P. 11. (rus)
 9. *Kumpyak O.G., Galyaudinov Z.R., Odnokopylov G.I., Pakhmurin O.R.* Osobennosti diagnostiki nagruzhennykh fundamentov elektroprivodov gazokompressornoj stantsii bez ostanovki tekhnologicheskikh protsessov. [Diagnostics of loaded foundations of gas compressor station without process shutdown]. *Vestnik Tomsk State University of Architecture and building*. 2017. No. 1 (60). Pp. 114–121. (rus)
 10. *Plevkov V.S., Sarkisov D.Yu., Baldin S.V.* Analiz parametrov kolebatel'nykh protsessov nesushchego karkasa proizvodstvennogo zdaniya [Analysis of parameters of the oscillatory processes in bearing frame of industrial building]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No. 4 (72). Pp. 47–56. (rus)
 11. *Timoshenko S.P.* Kolebanija v inzhenernom dele [Fluctuations in engineering]. Moscow: Nauka, 1967. 444 p. (rus)
 12. *Kopanica D.G., Moiseenko R.P., Pljaskin A.S.* Sobstvennye kolebanija szhatoj stalebetonnoj kolonny [Natural vibrations of compressed steel concrete column]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. 2017. V. 371. No.5. Pp. 259–261. (rus)
 13. *Kopanica D.G., Kaparulin S.L., Pljaskin A.S.* Spektral'nyj analiz fizicheskogo sostojanija modelej zhelezobetonnykh kolonn podverzhennykh osevomu szhatiju [Spectral analysis of physical state of reinforced concrete columns under axial compression]. Beton i zhelezobeton – vzgljad v budushhee: Nauchnye trudy III Vserossijskoj (II Mezhdunarodnoj) konferencii po betonu i zhelezobetonu: v 7 tomah (*Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete – Glimpse at Future'*). 2014. Pp. 179–182. (rus)
 14. *Pljaskin A.S., Ustinov A.M., Koshko B.O.* Jeksperimental'nye issledovanija zavisimosti chastoty sobstvennykh kolebanij zhelezobetonnoj kolonny ot velichiny szhimajushhej sily [Dependence of reinforced concrete column eigen-frequency on compressive stress]. Investicii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyj bazis modernizacii i innovacionnogo razvitiya jekonomiki: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (*Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation'*). Tomsk: TSUAB, 2018. Pt. 1. Pp. 416–420. (rus)

Сведения об авторах

Пляскин Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Plyaskinandrei@mail.ru

Матвеев Андрей Вадимович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, andrsv2000@rambler.ru

Кошко Богдан Олегович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, koshkobogdan@mail.ru

Шабалин Никита Владиславович, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nek.shabalin@gmail.com

Authors Details

Andrei S. Plyaskin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Plyaskinandrei@mail.ru

Andrei V. Matveev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, andrsv2000@rambler.ru

Bogdan O. Koshko, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, koshkobogdan@mail.ru

Nikita V. Shabalin, Undergraduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nek.shabalin@gmail.com