

УДК 624.03

doi: 10.33622/0869-7019.2024.02.??-??

# Опыт эксплуатации системы мониторинга конструкций радиотелевизионной башни в Волгограде

**Дмитрий Владимирович СТЕПАНОВ**<sup>1</sup>, генеральный директор, soyzstal@mail.ru

**Александр Владимирович МАКАРОВ**<sup>1</sup>, зам. генерального директора, soyzstal@mail.ru

**Андрей Викторович ВАЛОВ**<sup>2</sup>, генеральный директор, a\_valov@mail.ru

**Евгений Сергеевич ЗУБАНОВ**<sup>1,3</sup>, ведущий инженер-проектировщик, аспирант ННГАСУ, zubanov@soyzstal.ru

**Евгений Николаевич ОБЛЕТОВ**<sup>1,3</sup>, инженер-проектировщик, аспирант ННГАСУ, ассистент кафедры

<sup>1</sup> Союзстальконструкция, 603155 г. Нижний Новгород, ул. Максима Горького, 262, офис П250

<sup>2</sup> Системы мониторинга, 603152 г. Нижний Новгород, ул. Ларина, 22, офис 15

<sup>3</sup> Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

**Аннотация.** В соответствии с нормативными документами для обеспечения безопасности возведения и эксплуатации уникальных сооружений был организован постоянный мониторинг за состоянием инженерных конструкций радиотелевизионной башни в Волгограде. Основная цель проведения мониторинга – минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций на уникальном сооружении. В статье приводится общая информация о проектных и организационных решениях по внедрению системы автоматизированного мониторинга за состоянием конструкций башни. Даны подробные сведения об архитектуре системы, о применяемом оборудовании, методике проведения измерений, программном обеспечении и регистрируемых с его помощью параметрах сооружения. Обобщен опыт проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации системы мониторинга конструкций башни. Особое внимание уделено анализу результатов наблюдения. Отмечены проблемы, неизбежно возникающие при эксплуатации системы мониторинга, предложены пути их решения. Показано, что применение автоматизированных систем мониторинга значительно повышает надежность уникальных сооружений и увеличивает безопасность их долговременной эксплуатации.

**Ключевые слова:** антенно-мачтовые сооружения, система мониторинга инженерных конструкций, программное обеспечение, динамические параметры, климатические параметры, деформации, радиотелевизионная башня

**Для цитирования:** Степанов Д. В., Макаров А. В., Валов А. В., Зубанов Е. С., Облетов Е. Н. Опыт эксплуатации системы мониторинга конструкций радиотелевизионной башни в Волгограде // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 2. С. ?? – ?? . doi: 10.33622/0869-7019.2024.02.??-??

## OPERATIONAL EXPERIENCE OF THE MONITORING SYSTEM FOR RADIO AND TELEVISION TOWER STRUCTURES IN VOLGOGRAD

**Dmitry V. STEPANOV**<sup>1</sup>, soyzstal@mail.ru

**Aleksandr V. MAKAROV**<sup>1</sup>, soyzstal@mail.ru

**Andrey V. VALOV**<sup>2</sup>, a\_valov@mail.ru

**Evgeniy S. ZUBANOV**<sup>1,3</sup>, zubanov@soyzstal.ru

**Evgeny N. OBLETOV**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Soyzstalkonstruktsiya, ul. Maksima Gorkogo, 262, office P250, 603155 Nizhny Novgorod, Russian Federation

<sup>2</sup> Monitoring Systems, ul. Larina, 22, office 15, 603152 Nizhny Novgorod, Russian Federation

<sup>3</sup> Novgorod State University of Civil Engineering, ul. Ilyinskaya, 65, Nizhny Novgorod 603950, Russian Federation

**Abstract.** In accordance with the current regulatory documents, to ensure the safety of the construction and operation of unique structures, a set of measures was organized to constantly monitor the state of the tower structures. The main goal of monitoring is to minimize the likelihood of emergency situations. The article provides general information about the design and organizational solutions for the implementation of an automated monitoring system for the state of the tower structures. Detailed information about the architecture of the system is given, the equipment used, the measurement technique, software and the parameters of the structure recorded with its help are described. The experience of designing, installing, adjusting and operating a monitoring system for tower structures is summarized. Particular attention is paid to the analysis of observation results. The problems that inevitably arise during the operation of the monitoring system are noted, ways to solve them are proposed. It is shown that the use of automated monitoring systems

significantly increases the reliability of unique structures and increases the safety of their long-term operation.

**Keywords:** antenna-mast structures, monitoring system of engineering structures, software, dynamic parameters, climatic parameters, deformations, radio-television tower

**For citation:** Stepanov D. V., Makarov A. V., Valov A. V., Zubanov E. S., Obletov E. N. Operational experience of the monitoring system for radio and television tower structures in Volgograd. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2024, no. 02, pp. ?? – ???. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2024.02.??-??

## Введение

Согласно требованиям федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», ГОСТ Р 22.1.12–2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» и ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» для уникальных зданий и сооружений, имеющих повышенный уровень ответственности, должны быть предусмотрены системы технического мониторинга при эксплуатации сооружения.

Построенная в г. Волгограде в 2016 г. радиотелевизионная башня высотой 256 м является уникальным и технически сложным сооружением. Для наблюдения за техническим состоянием конструкций башни была спроектирована и установлена автоматизированная система мониторинга инженерных конструкций (далее – СМИК).

Целью выполненной работы было создание и реализация автоматизированной системы мониторинга для наблюдения за состоянием конструкций радиотелевизионной башни; анализ влияния различных факторов, включая климатические и динамические параметры, на ее структурную целостность и безопасность; оценка эффективности системы мониторинга на основе собранных данных и определение возможности совершенствования системы.

Разработка программы мониторинга конструкций выполнена совместно специалистами ООО



**Рис. 1.** Радиотелевизионная башня высотой 256 м в Волгограде

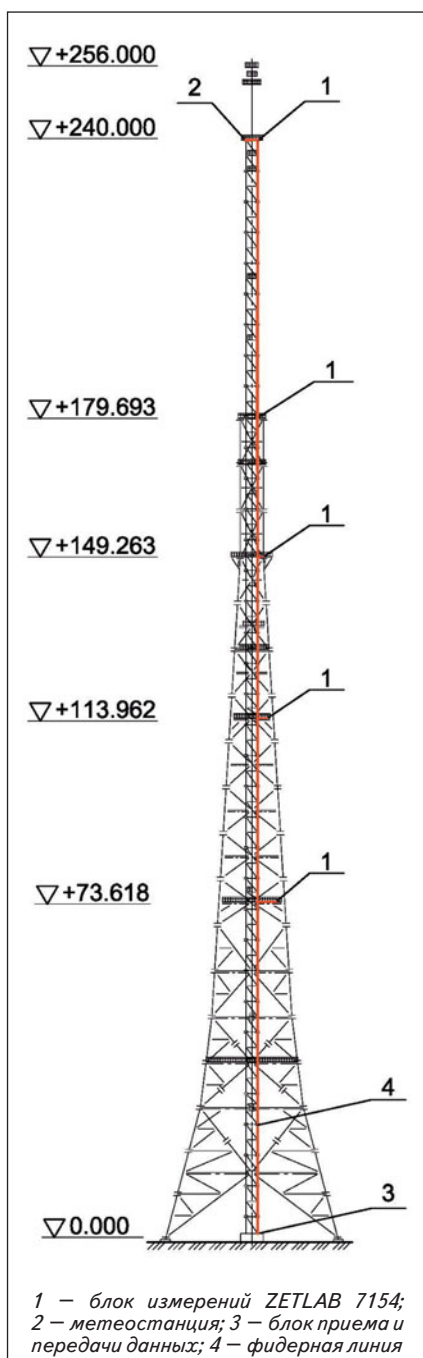
«Системы мониторинга» и ООО «Союзстальконструкция» в 2022 г. При разработке СМИК учитывался опыт коллег в отрасли [1–11]. С октября 2022 г. был установлен постоянный мониторинг за техническим состоянием конструкций башни.

## Мониторинг конструкций башни

Проект радиотелевизионной башни разработан ГСПИ РТВ (Москва) в рамках строительства сети цифрового наземного телевизионного вещания Волгоградской обл.

Башня представляет собой решетчатую четырехгранную усеченную пирамиду с отм. 0.000 до отм. +179.693 с центральной решетчатой четырехгранной призмой с отм. 0.000 до отм. +240.000. Ширина основания башни – 37,5 м (рис. 1).

Автоматизированная система мониторинга состояния конструкций башни состоит из пяти блоков измерений, блока приема и передачи данных, а также метеостанции. На рис. 2 приведена схема расположения измерительного оборудования, установленного на конструкциях башни. Контроль крена башни по двум направлениям основных осей сооружения осуществляется с помощью пяти инклинометров ZETLAB 7154, установленных на поясах башни на отметках +75.000, +113.000, +150.000, +178.000 и +240.000. С их помощью определяются вертикальные и горизонтальные деформации конструкций башни, а также проводится анализ динамического отклика сооружения (определение частот, форм собственных



**Рис. 2. Схема расположения измерительного оборудования**

колебаний, логарифмических декрементов затухания).

Система предоставляет информацию о колебаниях башни, которая необходима для интегральной оценки изменений с течением времени технического состояния конструкций и калибровки параметров расчетной модели. Установка метеостанции



**Рис. 3. Размещение блока измерения ZETLAB 7154 на конструкции башни**

позволяет оценивать влияние сезонных и климатических изменений на конструкции башни — измерение скорости и направления ветра, температуры, влажности и давления.

#### Проектные решения по организации автоматизированного мониторинга конструкций

Разработка программного обеспечения СММК, а также подбор оборудования выполнены сотрудниками ООО «Системы мониторинга». Разработка проектной и рабочей документации, монтаж системы непосредственно на конструкции башни осуществлены сотрудниками ООО «Союзстальконструкция».

Поскольку измерительное оборудование эксплуатируется на открытом воздухе, оно подвержено агрессивному воздействию окружающей среды (коррозия, попадание влаги на проводники кабельных линий, воздействие электромагнитных полей, удары молний и т. п.). Измерительное оборудование установлено во влагозащищенных корпусах на кронштейнах, позволяющих выполнять выверку датчика в двух плоскостях (рис. 3). Кабель через горизонтальные конструкции прокладывали вдоль поясов башни по фидерной линии. Проведена настройка первоначального положения датчиков, приведение начальных углов в нулевое положение с учетом фактически-



**Рис. 4. Размещение блока приема и передачи данных**

го положения конструкций башни.

Установка 4G-роутера обеспечила удаленную связь с сервером сбора и обработки данных с объекта мониторинга через Интернет по защищенному VPN-туннелю (рис. 4). Это решение позволило в режиме реального времени предоставлять оперативную информацию службе эксплуатации объекта. Хранение, обработка и отображение собранной информации за период этапа мониторинга проводится автоматически в режиме 24/7. Технический анализ полученных данных выполняют высококвалифицированные сотрудники.

Оценку результатов мониторинга и сравнение с расчетными данными проводят на основании построенной математической модели. По результату этапа мониторинга, службе эксплуатации объекта предоставляют заключение в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2011 «Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». С целью анализа изменений в показаниях датчиков ведется журнал с постоянной фиксацией основных событий (установка антенного оборудования, работы по реконструкции, экстремальные погодные явления и т. п.), влияющих на динамические характеристики сооружения.

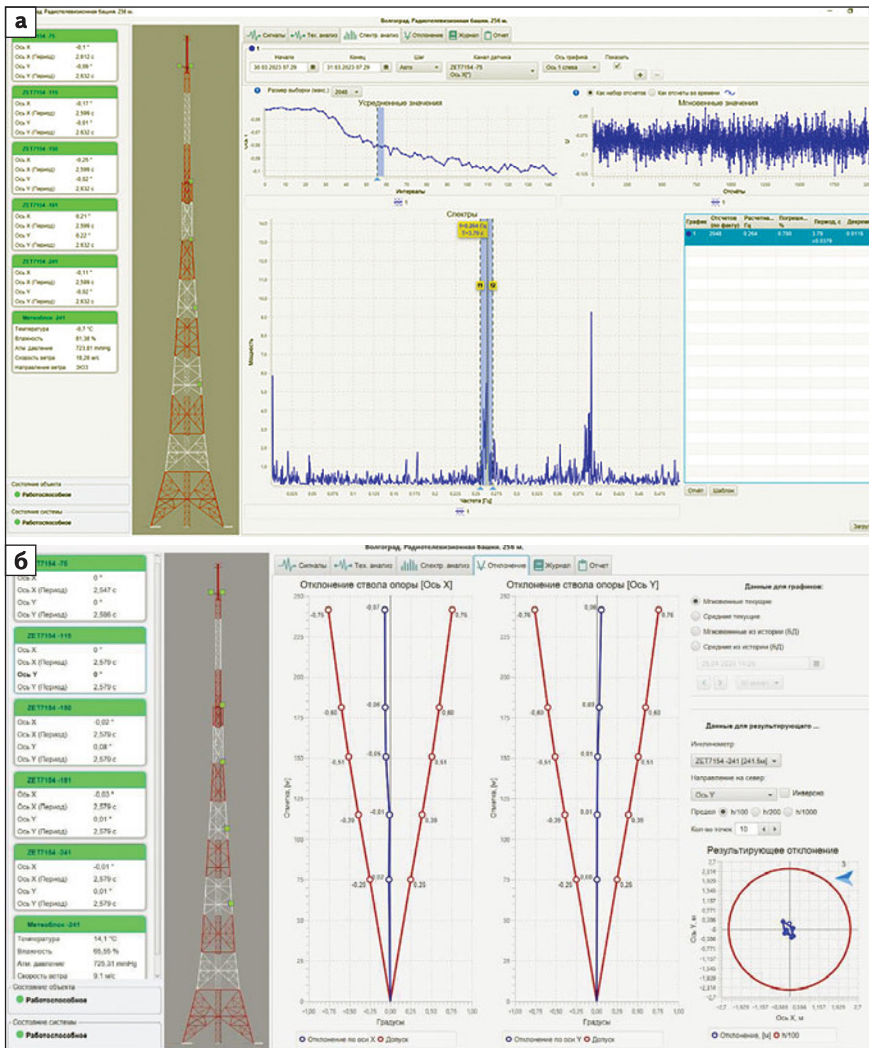
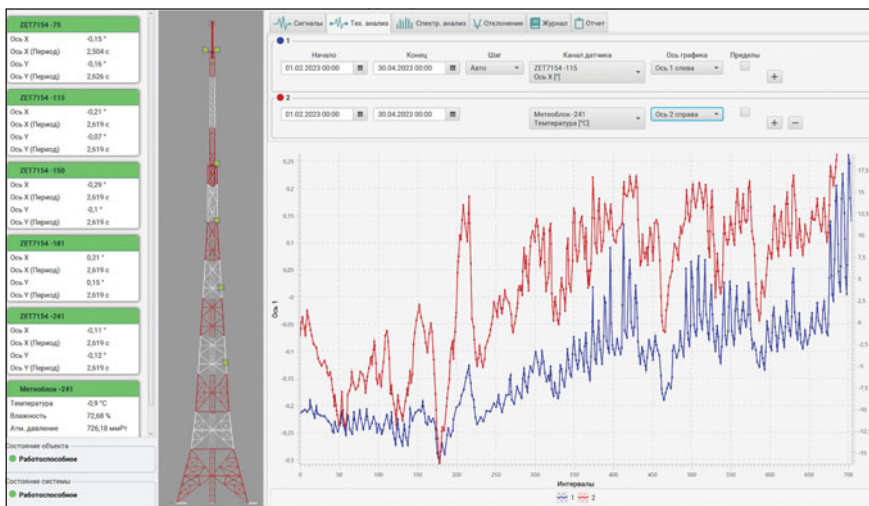


Рис. 5. Программный комплекс «Bessel». Вкладки «Спектр-анализ» (а) и «Отклонение» (б)

Рис. 6. График отклонений башни в зависимости от температуры за период с февраля по май 2023 г.



### Программное обеспечение системы мониторинга

На рис. 5 представлен интерфейс программного комплекса «Bessel». На главном экране расположены список установленных датчиков с цветовой индикацией их состояния, схема башни, блок графиков аналитической информации. На графике (рис. 5а) показан спектр колебаний опоры для выбранного временного участка. На рис. 5б представлена вкладка с визуализацией отклонений опоры в реальном времени. Комплекс мониторинга автоматически преобразует показания инклинометров в пространственные смещения положения конструкции, что позволяет получать схему вертикальности опоры в текущий момент времени.

Внедрение системы мониторинга потребовало развертывания и поддержки современной IT-инфраструктуры. В качестве платформы для работы с данными мониторинга было использовано программное обеспечение «Bessel» (запись в реестре от 11.05.2022 г. № 13495, [https://reestr.digital.gov.ru/reestr/718315/?sphrase\\_id=2898210](https://reestr.digital.gov.ru/reestr/718315/?sphrase_id=2898210)), в состав которого входят инструменты для сбора, хранения информации с датчиков объекта мониторинга, а также инструменты для технического анализа результатов мониторинга. Для определения параметров основного тона собственных колебаний конструкции башни разработана и аттестована методика [12] (свидетельство № 2/01.00269-2013/2022 от 28.02.2022 г.).

### Анализ результатов мониторинга

За время эксплуатации СМПК установлены зависимости между основными внешними факторами влияния и циклами изменения

планово-высотного положения конструкций (рис. 6). Фактически измеренный период основного тона собственных колебаний был постоянным и составил 3,72 с, что соответствует расчетному значению основного тона собственных колебаний, полученному с применением программно-вычислительного комплекса SCAD. Необходимо отметить, что за время мониторинга основные параметры сооружения не изменялись, реконструкция и установка дополнительного оборудования не проводились. Особенности контроля динамических параметров при реконструкции башни высотой 180 м приведены в статье [13].

При эксплуатации СММК особое внимание необходимо уделить герметичности узлов системы, а также молниезащите как системы в целом, так и ее от-

дельных компонентов. Например, при эксплуатации, вследствие удара молнии, были выведены из строя несколько датчиков, что не привело к выходу из строя всей системы, и после проведения ремонтных работ в рамках гарантийных обязательств работа системы мониторинга была восстановлена.

Для повышения надежности и точности измерений в состав СММК рекомендуется включать средства измерений, основанные на различных принципах работы. В настоящее время осуществлен переход от использования иностранных электронных компонентов к российским. Накопление опыта проектирования и эксплуатации позволит снизить стоимость системы.

### Выводы

1. Система мониторинга инже-

нерных конструкций (СММК) успешно интегрирована и способствует повышению безопасности высотного сооружения. Наблюдения показали, что основные параметры конструкции радиотелевизионной башни в Волгограде остаются стабильными, что свидетельствует о надежности конструкции. Выявленные проблемы эксплуатации, как, например, воздействие молнии на датчики, обозначают потребность в дополнительных мерах по обеспечению безопасности и надежности системы. Переход на использование отечественных компонентов может снизить стоимость системы.

2. Применение автоматизированных систем мониторинга значительно повышает надежность уникальных сооружений и увеличивает безопасность их долговременной эксплуатации.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дорофеев В. М., Булыкин И. И., Назьмин Н. В. Методика определения периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 4. С. 28–29.
2. Сопегин Г. В., Сурсанов Д. Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. 2016. Т. 12. Вып. 2(101). С. 230–242.
3. Болдырев Г. Г., Валева Д. Н., Живаев А. А., Нестеров П. В. Системы мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2010. № 10. С. 38–44.
4. Алмазов В. О., Климов А. Н. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания // Вестник МГСУ. 2013. №10. С. 102–109.
5. Rebelo C., Simxes R. A. D., Henriques J., da Silva L. S. Long-term monitoring of a eighty meters high wind turbine steel tower [Долгосрочный мониторинг стальной башни высотой 80 метров] // IABSE Symposium Report – January 2008. doi: 10.2749/222137808796106459
6. Botz M., Grosse C., Raith M. Monitoring of wind turbine structures with concrete-steel hybrid-tower design [Мониторинг конструкций ветряных турбин с гибридной конструкцией башни из бетона и стали] // Conference 8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2016), July 2016.
7. Улыбин А. В. Измерение периодов и декрементов колебаний многоэтажных зданий // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 192–202.
8. Гурьев В. В., Дорофеев В. М., Лысов Д. А., Акбиев Р. Т. Основы мониторинга строительных объектов в период эксплуатации с использованием анализа изменения их динамических параметров // Строительные науки. 2021. № 3. С. 89–100.
9. Ишков А. Н., Шмелев Г. Д., Филиппова Н. И. Оценка значимости периода основного тона собственных колебаний зданий и сооружений как критерия, определяющего техническое состояние гражданских зданий // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 3. С. 9–15.
10. Климов А. Н. Прогноз развития напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания на основании данных системы мониторинга // Жилищное строительство. 2013. № 11. С. 13–16.
11. Шахраманьян А. М., Колотовичев Ю. А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 92–105.
12. ССК МИ 1–2020. Здания и сооружения. Методика измерения периода с определением логарифмического декремента основной гармоника механических колебаний с применением трехосевых интеллектуальных виброметров в выбранном месте конст-

рукции / Валов А. В., Степанов Д. В., Макаров А. В. Нижний Новгород, 2020. 11 с.

13. Валов А. В., Макаров А. В., Степанов Д. В. Контроль состояния несущих конструкций антенно-мач-

тового сооружения при техническом переоснащении // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 2. С. 14–16.  
doi: 10.33622/0869-7019.2022.02.14-16.

## REFERENCES

- Dorofeev V. M., Bulykin I. I., Naz'min N. V. Methodology for determining the period and logarithmic decrement of the fundamental tone of natural vibrations of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2006, no. 4, pp. 28–29. (In Russ.).
- Sopegin G. V., Sursanov D. N. Use of automated structures monitoring systems (ASMS). *Vestnik MGSU*, 2016, vol. 12, iss. 2(101), pp. 230–242. (In Russ.).
- Boldyrev G. G., Valeev D. N., Zhivaev A. A., Nesterov P. V. Monitoring systems for building structures of buildings and structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2010, no. 10, pp. 38–44. (In Russ.).
- Botz M., Grosse C., Raith M. Monitoring of wind turbine structures with concrete-steel hybrid-tower design. *Conference 8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2016)*, July 2016.  
Almazov V. O., Klimov A. N. Experimental study of the stress-strain state of high-rise building structures. *Vestnik MGSU*, 2013, no.10, pp. 102–109. (In Russ.).
- Rebelo C., Simxes R. A. D., Henriques J., da Silva L. S. Long-term monitoring of a eighty meters high wind turbine steel tower. *IABSE Symposium Report – January 2008*. doi: 10.2749/222137808796106459
- Botz M., Grosse C., Raith M. Monitoring of wind turbine structures with concrete-steel hybrid-tower design. *Conference 8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2016)*, July 2016.
- Ulybin A. V. . Measuring periods and decrements of vibrations of multi-story buildings. *Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Inspection of buildings and structures: problems and ways to solve them. Proc. of the VIII International scientific and practical conference]. St. Petersburg, Politekhn. un-t Publ., 2017, pp. 192–202. (In Russ.).
- Gur'ev V. V., Dorofeev V. M., Lysov D. A., Akbiev R. T. Fundamentals of monitoring construction projects during operation using analysis of changes in their dynamic parameters. *Stroitel'nye nauki*, 2021, no. 3, pp. 89–100. (In Russ.).
- Ishkov A. N., Shmelyov G. D., Filippova N. I. Assessing the significance of the period of the fundamental tone of natural vibrations of buildings and structures as a criterion that determines the technical condition of civil buildings. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*, 2017, no. 3, pp. 9–15. (In Russ.).
- Klimov A. N. Forecast of the development of the stress-strain state of high-rise building structures based on monitoring system data. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2013, no. 11, pp.13–16. (In Russ.).
- Shahraman'yan A. M., Kolotovichev Yu. A. experience of using automated systems for monitoring the deformation state of load-bearing structures at the Sochi 2014 Olympic venues. *Vestnik MGSU*, 2015, no. 12, pp. 92–105. (In Russ.).
- SSK MI 1–2020. Buildings and constructions. A method for measuring the period with determining the logarithmic decrement of the fundamental harmonic of mechanical vibrations using three-axis intelligent vibrometers at a selected location in the structure / Valov A. V., Stepanov D. V., Makarov A. V. Nizhnij Novgorod, 2020. 11 p. (In Russ.).
- Valov A. V., Makarov A. V., Stepanov D. V. Monitoring the condition of load-bearing structures of an antenna-mast structure during technical re-equipment. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2022, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.).  
doi: 10.33622/0869-7019.2022.02.14-16