
ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ

REDUCTION OF ADVANCES IN SCIENCE TO PRACTICE

Известия вузов. Строительство. 2024. № 5. С. 121–128.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2024; (5): 121–128.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.074.6.001.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2024-785-5-121-128

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АНТЕННО-МАЧТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дмитрий Владимирович Степанов¹, Александр Владимирович Макаров¹,
Андрей Викторович Валов², Евгений Сергеевич Зубанов^{1,3},
Юлия Дмитриевна Шабарова¹, Евгений Николаевич Облетов^{1,3}

¹ООО «Союзстальконструкция», Нижний Новгород, Россия

²ООО «Системы мониторинга», Нижний Новгород, Россия

³Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,
Нижний Новгород, Россия

Аннотация. По проблеме использования мобильных комплексов мониторинга при измерении динамических параметров для экспресс-оценки технического состояния антенно-мачтовых сооружений рассмотрены нормативно-технические вопросы в области определения динамических параметров, приведена методика их измерения, обобщен опыт сделанных измерений на разных типах антенно-мачтовых сооружений, выполнено сравнение результатов натурных измерений с расчетными параметрами, описаны основные проблемы, связанные с интерпретацией и обработкой измерений.

Ключевые слова: антенно-мачтовое сооружение, мобильный комплекс мониторинга, система постоянного мониторинга, динамические параметры, деформации

Для цитирования: Степанов Д.В., Макаров А.В., Валов А.В., Зубанов Е.С., Шабарова Ю.Д., Облетов Е.Н. Применение мобильных комплексов по измерению динамических параметров для оценки технического состояния антенно-мачтовых сооружений // Известия вузов. Строительство. 2024. № 5. С. 121–128. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-785-5-121-128.

Original article

APPLICATION OF MOBILE COMPLEXES FOR MEASUREMENT OF DYNAMIC PARAMETERS TO ASSESS THE TECHNICAL CONDITION OF ANTENNA-MAST STRUCTURES

Dmitry V. Stepanov¹, Alexander V. Makarov¹, Andrey V. Valov²,
Evgeny S. Zubanov^{1,3}, Yulia D. Shabarova¹, Evgeny N. Obletov^{1,3}

¹Soyuzstalkonstruktion LLC, Nizhny Novgorod, Russia

²Monitoring Systems LLC, Nizhny Novgorod, Russia

³Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. On the problem of using mobile monitoring systems for measuring dynamic parameters for express assessment of the technical condition of antenna-mast structures, normative and technical issues in the field of measuring dynamic parameters are considered, a methodology for measuring dynamic parameters is given, and the experience of measurements performed on different types of antenna-mast structures is summarized, the results of field measurements were compared with the calculated parameters, and the main problems associated with the interpretation and processing of measurements were described.

Keywords: antenna-mast structure, mobile monitoring complex, continuous monitoring system, dynamic parameters, deformations

For citation: Stepanov D.V., Makarov A.V., Valov A.V., Zubanov E.S., Shabarova Yu.D., Obletov E.N. Application of mobile complexes for measurement of dynamic parameters to assess the technical condition of antenna-mast structures. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2024; (5): 121–128. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2024-785-5-121-128.

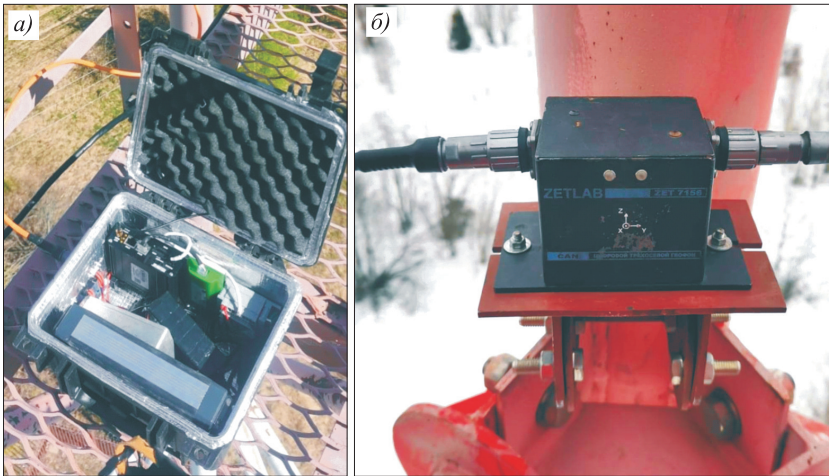
Стоимость работ по обследованию и оценке технического состояния антенно-мачтовых сооружений является дорогим и трудозатратным мероприятием, связанным с проведением работ на высоте в безопасном пространстве с применением альпинистского снаряжения; действия проводятся в сжатые сроки, что обусловлено отключением работающего антенного оборудования.

Для уменьшения стоимости, сроков и интервалов между обследованиями предложено использование мобильных комплексов мониторинга по измерению динамических параметров для экспресс-оценки технического состояния антенно-мачтовых сооружений.

В соответствии с требованием ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» детальное (инструментальное) обследование технического состояния здания (сооружения) включает в себя инструментальное определение параметров дефектов и повреждений, в том числе динамических параметров.

В свою очередь, динамические параметры зданий (сооружений) ГОСТ 31937–2011 определяет как характеристики их динамических свойств, проявляющихся при динамических нагрузках основного тона и обертонов (периоды и декременты собственных колебаний, передаточные функции объектов, их частей и элементов и др.).

Для решения задач по измерениям динамических параметров в рамках действующих норм предлагается использовать «Мобильный комплекс мони-



*Рис. 1. Мобильный комплекс мониторинга
а – блок первичной обработки и передачи данных; б – датчик на примере трех-осевого вибromетра ZET7156*

*Fig. 1. A mobile monitoring complex
а – a unit for primary processing and data transmission; б – a sensor using the example of a three-axis vibrometer ZET7156*

торинга» (МКМ), разработанный ООО «Системы мониторинга» и предназначенный для измерения периода и определения логарифмического декремента основной гармоник механических колебаний конструкций сооружений.

Мобильный комплекс мониторинга состоит из блока первичной обработки и передачи данных и подключенного датчика, установленного на поворотной платформе (рис. 1). Платформа крепится непосредственно к конструкциям. Время проведения измерений составляет 20–30 мин.

Расчет динамических характеристик объекта мониторинга выполняется по аттестованной методике [1] на основании сигналов с датчика. МКМ отсылает сигналы с датчика по каналам 3G/4G. В случае отсутствия связи сигнал по желанию оператора может быть записан на прилагающуюся флеш-карту и в дальнейшем вручную выгружен для анализа в облачный сервер.

Работа по анализу сигналов и расчету динамических характеристик осуществляется через программно-аппаратный комплекс (ПАК) СММК Бессель, включенный в реестр российского ПО. Интерфейс программы представлен на рис. 2.

Измерение динамических параметров производится согласно документации «ССК МИ 1–2020. Здания и сооружения. Методика измерения периода с определением логарифмического декремента механических колебаний с применением трехосевых интеллектуальных вибromетров в выбранном месте конструкции» [1], разработанной специально для задачи обследования зданий с учетом имеющегося в отрасли опыта проведения аналогичных измерений [2–11] и собственного опыта по обследованию объектов связи.

Полученные результаты измерений записываются в базу данных на удаленном сервере.

Место установки датчика для измерения лучше выбирать в верхней части сооружения. Предпочтительно, чтобы точка расположения датчика МКМ была выше, чем половина высоты опоры, это даст более точный ре-

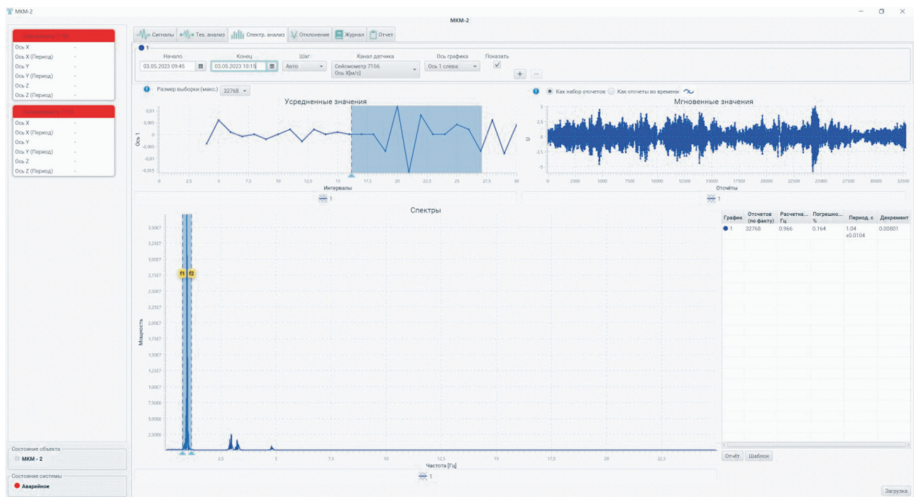


Рис. 2. Интерфейс СМИК Бессель в процессе обработки результатов измерений
Fig. 2. Interface of ESMS Bessel into the process of processing measurement results

зультат. Однако точность используемых приборов позволяет производить съемку и на низких отметках, вплоть до одной пятой высоты сооружения, что было проверено при измерении объектов связи.

Исключением являются мачты. Ввиду малой подвижности данного типа конструкций необходимо, чтобы точка установки датчика находилась в диапазоне от самого верхнего лацменного узла до верха опоры. Иначе при построении спектра мощности колебаний можно увидеть, что наибольшую амплитуду имеют колебания по высшим формам. Измерения все еще будут корректными, однако оператор может неверно интерпретировать полученные данные. На рис. 3 представлен пример измерения частоты колебаний мачты при установке измерительного оборудования в районе середины опоры.

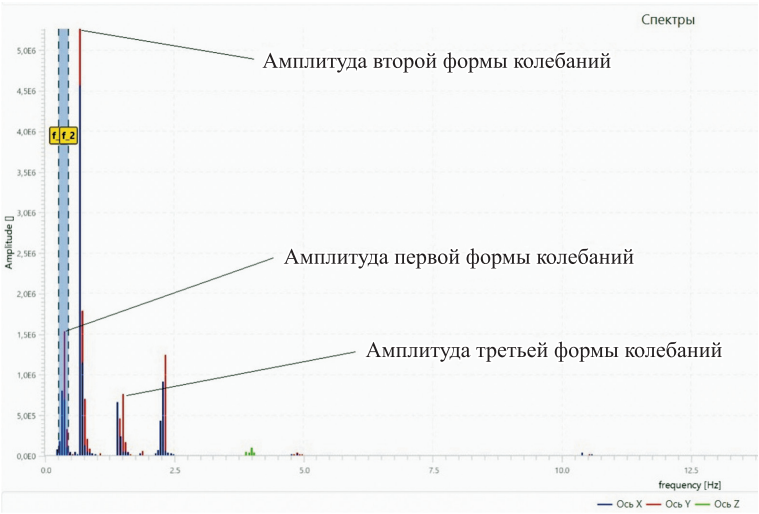


Рис. 3. Спектр мощности колебаний при установке датчика в середине мачты высотой 220 м
Fig. 3. Oscillation power spectrum when installing the sensor in the middle of a 220 m high mast



Рис. 4. Башня высотой 200 м в г. Самара. Период основного тона собственных колебаний башни составил 3,6 с, декремент колебаний 0,0141–0,0112

Fig. 4. Tower 200 m high in Samara. The period of the fundamental tone of the tower's own vibrations was 3.6 s, the decrement of vibrations was 0.0141–0.0112



Рис. 5. Датчик, закрепленный на поясе башни в процессе измерения на отметке +140,0 м

Fig. 5. Sensor attached to the tower belt during the measurement process at +140.0 m



Рис. 6. Вычисление динамических параметров башни

Fig. 6. Calculation of dynamic parameters of the tower

Обработка результатов может проводиться удаленно в режиме реального времени, что позволяет своевременно провести анализ получаемых данных и оценить правильность выбранного диапазона измерений.

По динамическим параметрам можно судить как о сооружении в целом, так и о состоянии его отдельных элементов, например, о натяжении предва-

Результаты определения динамических параметров

Results of determining dynamic parameters

№ п/п	Наименование объекта	Измеренный период основного тона собственных колебаний, с	Расчетный период основного тона собственных колебаний, с	Сходимость, %	Расчетный логарифмический декремент затухания
1	Башня высотой 70 м в н.п. Приозерск	1,09	1,05	96,2	0,0444–0,0508
2	Башня высотой 70 м в н.п. Первомайское	1,17	1,14	97,4	0,0603–0,0800
3	Башня высотой 180 м в н.п. Глубокое	2,07	1,93	92,7	0,0723–0,120
4	Башня высотой 200 м в г. Самара	3,60	3,75	96,0	0,0141–0,0112
5	Мачта высотой 220 м в н.п. Тотьма	2,78	2,70	97,1	0,0691–0,0307
6	Мачта высотой 92,6 м в н.п. Высокая	1,28	1,11	84,7	0,258–0,162
7	Мачта высотой 246 м в н.п. Курилово	3,31	3,46	95,7	0,0473–0,110

рительно напряженных раскосов или о возникновении резонансного вихревого возбуждения в отдельных элементах конструкции. Измерение натяжения гибких раскосов выполняется с помощью датчика, закрепленного на раскосе. Натяжение раскоса определяется по частоте колебания раскоса – точность такого метода достаточно высокая (в пределах 95 %). Данные подтверждены результатами экспериментов, опубликованными в статье [12].

В качестве примера приведем измерение динамических параметров для башни высотой 200 м в г. Самара (рис. 4–6).

Аналогично было проведено определение динамических параметров еще на ряде объектов. Данные по этим измерениям сведены в таблице.

Заключение. Полученные характеристики являются важными для оценки технического состояния объекта. На основании изменения динамических параметров можно делать выводы о необходимости или переносе сроков очередного обследования.

Измеренные динамические параметры должны вноситься в паспорт объекта. Проведение таких измерений следует выполнять на протяжении всего периода эксплуатации объекта, в частности, до и после навески антенного оборудования [13]. При интерпретации полученных данных измерений надлежит учитывать текущее состояние объекта.

Применение мобильных комплексов мониторинга позволит повысить качество обследования, увеличить интервал между обследованиями, а это, в свою очередь, сократит расходы на обследование.

Список источников

1. Валов А.В., Степанов Д.В., Макаров А.В. ССК МИ 1–2020. Здания и сооружения. Методика измерения периода с определением логарифмического декремента механических колебаний с применением трехосевых интеллектуальных виброметров в выбранном месте конструкции. Нижний Новгород, 2020. 11 с.

2. Дорофеев В.М., Булыкин И.И., Назьмов Н.В. Методика определения периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 4. С. 28–29.
3. Улыбин А.В. Измерение периодов и декрементов колебаний многоэтажных зданий // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения (Материалы VIII международной научно-практической конференции). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 192–202.
4. Сопегин Г.В., Сурсанов Д.Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. 2016. Т. 12, вып. 2(101). С. 230–242.
5. Болдырев Г.Г., Валеев Д.Н., Живаев А.А., Нестеров П.В. Системы мониторинга строительных конструкций зданий и сооружений // Жилищное строительство. 2010. № 10. С. 38–44.
6. Алмазов В.О., Климов А.Н. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 102–109.
7. Rebelo C., Simões R.A.D., Henriques J., Simões da Silva L. Long-term monitoring of a eighty meters high wind turbine steel tower // IABSE Symposium Report. January 2008. DOI: 10.2749/222137808796106459.
8. Botz M., Grosse C., Raith M. Monitoring of wind turbine structures with concrete-steel hybrid-tower design // Conference Paper. July 2016.
9. 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.
10. 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 // Научный журнал ВГТУ. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 3. С. 9–15.
11. Климов А.Н. Прогноз развития напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания на основании данных системы мониторинга // Жилищное строительство. 2013. № 11. С. 13–16.
12. Степанов Д.В., Макаров А.В., Маершин Р.В., Валов А.В., Зубанов Е.С., Облехов Е.Н. Методика определения тяжения в предварительно напряженном раскосе башни // Приволжский научный журнал. 2023. № 2. С. 44–49.
13. Валов А.В., Макаров А.В., Степанов Д.В. Контроль состояния несущих конструкций антенно-мачтового сооружения при техническом переоснащении // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 2. С. 14–16.

References

1. Valov A.V., Stepanov D.V., Makarov A.V. SSK MI 1–2020. Buildings and constructions. A method for measuring the period with determining the logarithmic decrement of mechanical vibrations using three-axis intelligent vibrometers at a selected location in the structure. Nizhny Novgorod, 2020. 11 p. (In Russ.).
2. Dorofeev V.M., Bulykin I.I., Nazmov N.V. Methodology for determining the period and logarithmic decrement of the fundamental tone of natural vibrations of buildings and structures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2006; (4): 28–29. (In Russ.).
3. Ulybin A.V. Measuring periods and decrements of vibrations of multi-story buildings. Inspection of buildings and structures: problems and ways to solve them (Proceedings of the VIII international scientific and practical conference). Saint Petersburg, 2017. P. 192–202. (In Russ.).
4. Sopegin G.V., Sursanov D.N. Use of automated structures monitoring systems (ASMS). *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2016; 12 (2): 230–242. (In Russ.).

5. Boldyrev G.G., Valeev D.N., Zhivaev A.A., Nesterov P.V. Monitoring systems for building structures of buildings and structures. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing Construction*. 2010; (10): 38–44. (In Russ.).
6. Almazov V.O., Klimov A.N. Experimental study of the stress-strain state of high-rise building structures. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2013; (10): 102–109. (In Russ.).
7. Rebelo C., Simões R.A.D., Henriques J., Simões da Silva L. Long-term monitoring of a eighty meters high wind turbine steel tower. IABSE Symposium Report. January 2008. DOI: 10.2749/222137808796106459.
8. Botz M., Grosse C., Raith M. Monitoring of wind turbine structures with concrete-steel hybrid-tower design. Conference Paper. July 2016.
9. Guryev 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'nyye nauki = Construction Sciences*. 2021; (3): 89–100. (In Russ.).
10. Ishkov A.N., Shmelev 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. *Nauchnyy zhurnal VGTU. Zhilishchnoye khozyaystvo i kommunal'naya infrastruktura = Scientific journal of VSTU. Housing and communal infrastructure*. 2017; (3): 9–15. (In Russ.).
11. Klimov A.N. Forecast of the development of the stress-strain state of high-rise building structures based on monitoring system data. *Zhilishchnoye stroitel'stvo = Housing Construction*. 2013; (11): 13–16. (In Russ.).
12. Stepanov D.V., Makarov A.V., Maershin R.V., Valov A.V., Zubanov E.S., Obletov E.N. Methodology for determining gravity in a prestressed tower brace. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal = Privolzhsky Scientific Journal*. 2023; (2): 44–49. (In Russ.).
13. 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. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2022; (2): 14–16. (In Russ.).

Информация об авторах

Д.В. Степанов – генеральный директор, soyzstal@mail.ru

А.В. Макаров – заместитель генерального директора, soyzstal@mail.ru

А.В. Валов – генеральный директор, a_valov@mail.ru

Е.С. Зубанов – ведущий инженер-проектировщик, аспирант, zubanov@soyzstal.ru

Ю.Д. Шабарова – ведущий инженер-проектировщик, shabarova@soyzstal.ru

Е.Н. Облетов – инженер-проектировщик, аспирант, evg.obletov@gmail.com

Information about the authors

D.V. Stepanov – General Director, soyzstal@mail.ru

A.V. Makarov – Deputy General Director, soyzstal@mail.ru

A.V. Valov – General Director, a_valov@mail.ru

E.S. Zubanov – Leading Design Engineer, Post-graduate Student, zubanov@soyzstal.ru

Yu.D. Shabarova – Leading Design Engineer, shabarova@soyzstal.ru

E.N. Obletov – Design Engineer, Post-graduate Student, evg.obletov@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.03.2024
Одобрена после рецензирования 26.04.2024
Принята к публикации 02.05.2024

The article was submitted 25.03.2024
Approved after reviewing 26.04.2024
Accepted for publication 02.05.2024