

УДК [624.03]+ 624.971

Д.В. СТЕПАНОВ, генеральный директор¹; **А.В. МАКАРОВ**, зам. генерального директора¹; **А.В. ВАЛОВ**, генеральный директор²; **Е.С. ЗУБАНОВ**, ведущий инженер-проектировщик¹, аспирант кафедры строительных конструкций³; **Ю.Д. ШАБАРОВА**, ведущий инженер-проектировщик¹; **Е.Н. ОБЛЕТОВ**, инженер-проектировщик¹, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики³.

Применение мобильных комплексов по измерению динамических параметров для оценки технического состояния антенно-мачтовых сооружений

¹ООО «Союзстальконструкция», Россия, 603155, г. Н. Новгород, ул. Максима Горького, 262, оф. П250. Тел.: (831) 422-12-23;

эл. почта: soyzstal@mail.ru

²ООО «Системы мониторинга», Россия, 603152, г. Н. Новгород, ул. Ларина, 22, оф. 15

эл. почта: a_valov@mail.ru

³ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: evg.obletov@gmail.com

Ключевые слова: антенно-мачтовое сооружение (АМС), мобильный комплекс мониторинга, система постоянного мониторинга, СММК, динамические параметры, деформации, ПАК СММК Бессель.

Статья посвящена использованию мобильных комплексов мониторинга по измерению динамических параметров для экспресс оценки технического состояния антенно-мачтовых сооружений, рассмотрены нормативно-технические вопросы в области измерения динамических параметров, приведена методика измерения динамических параметров, обобщен опыт выполненных измерений на разных типах антенно-мачтовых сооружений, проведено сравнение результатов натурных измерений с расчетными параметрами, описаны основные проблемы связанные с интерпретацией и обработкой измерений.

На данный момент 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, работы 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 расшифровывает, как параметры зданий и сооружений, характеризующие их динамические свойства, проявляющиеся при динамических нагрузках, и включающие в себя периоды и декременты собственных колебаний основного тона и обертонов, передаточные функции объектов, их частей и элементов и др.

Для решения задач по измерениям динамических параметров в соответствии с действующими нормами предлагается использовать “Мобильный комплекс мониторинга” (далее МКМ), разработанный ООО “Системами мониторинга”.

Данный мобильный комплекс предназначен для измерения периода и определения логарифмического декремента основной гармоника механических колебаний конструкций сооружений.

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

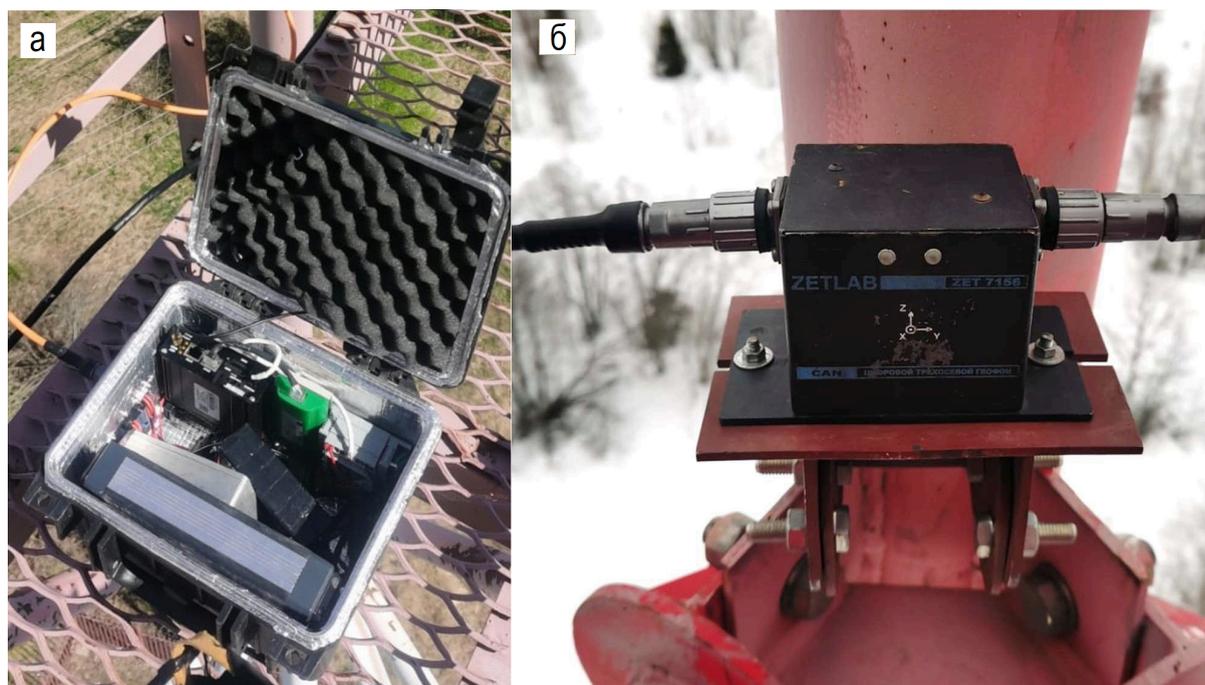


Рисунок 1. Мобильный комплекс мониторинга подготовленный для проводимых измерений на объекте, где: а) блок первичной обработки и передачи данных, б) датчик, на примере трехосевого виброметра ZET7156.

Расчет динамических характеристик объекта мониторинга выполняется по аттестованной методике [1] на основании сигналов с датчика. МКМ отправляет сигналы с датчика по каналам 3G/4G. В случае отсутствия связи сигнал по желанию оператора может быть загружен 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 (далее ПАК) СМИК Бессель интерфейс программы представлен на рисунке 2. ПО включено в реестр российского ПО.

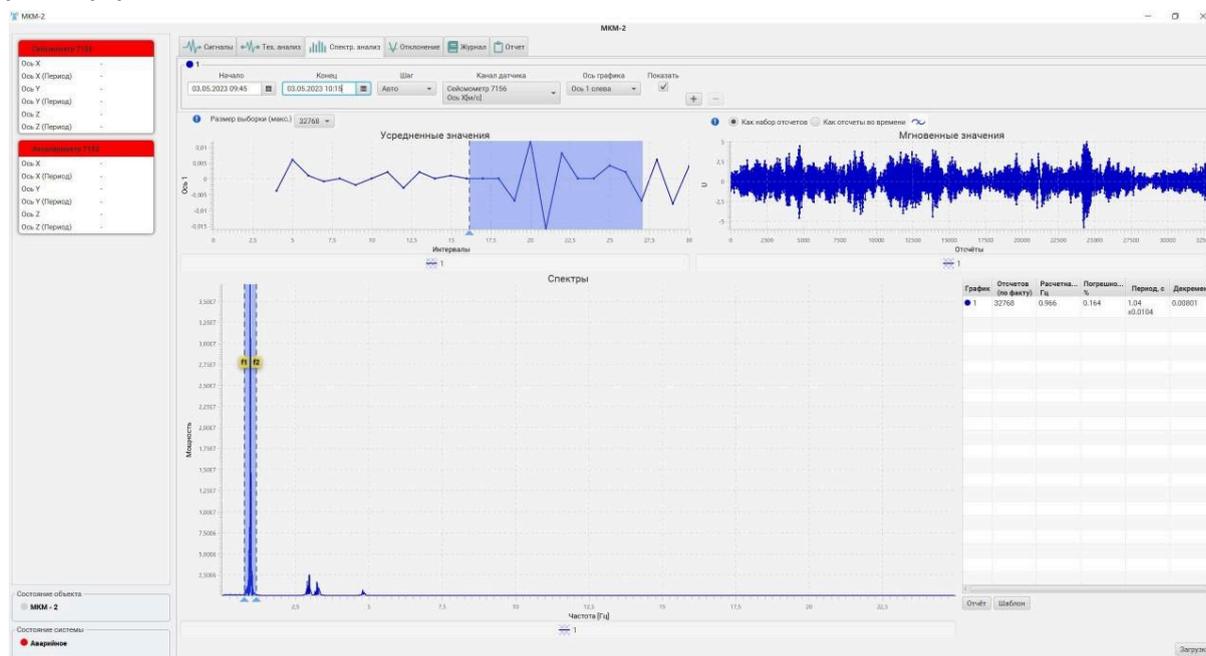


Рисунок 2. Интерфейс ПАК СМИК Бессель в процесс обработки результатов измерений.

Измерение динамических параметров производится в соответствии с документацией “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” [1] разработанной специально для задачи проведения обследования зданий с учетом имеющегося в отрасли опыта проведения аналогичных измерений [2-12] и собственного опыта по обследованию объектов связи.

Данные, полученные в результате измерений, записываются в базу данных на удаленном сервере.

При выборе места установки датчика для проведения измерения лучше выбирать верхнюю часть сооружения. Предпочтительно, чтобы точка установки датчика МКМ была выше, чем половина высоты опоры, это даст наиболее точный результат. Однако точность используемых приборов позволяет производить съемку и на более 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 была в диапазоне от самого верхнего лацменного узла, до верха опоры. Иначе при построении спектра мощности колебаний, можно увидеть, что наибольшую амплитуду

имеет колебание не по первой форме колебаний. Измерения все еще будут корректными, однако оператор может неверно интерпретировать полученные данные. На рисунке 3 представлен пример измерения частоты колебаний мачты при установке измерительного оборудования в районе середины опоры.

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

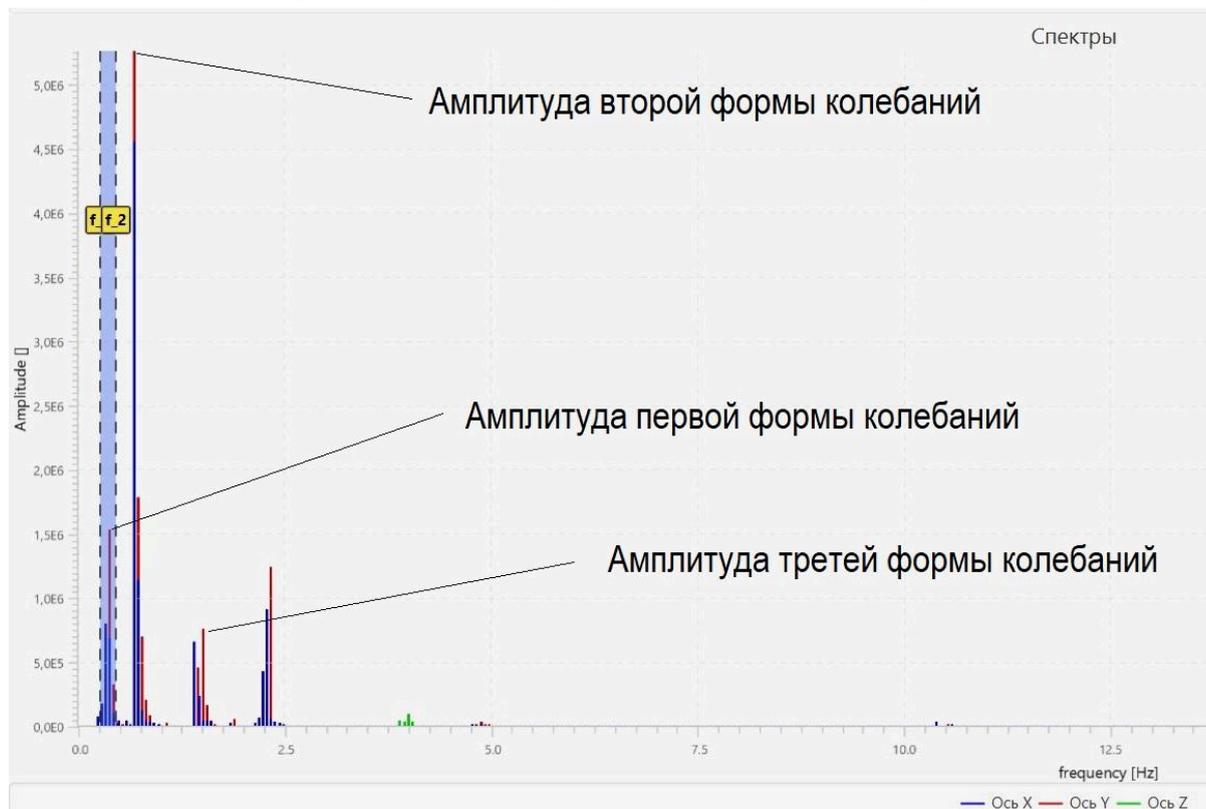


Рисунок 3. Спектр мощности колебаний при установке датчика в средней отметке мачты высотой 220 м.

По динамическим параметрам можно судить как о сооружении в целом, так и о состоянии его отдельных элементов, например, о натяжении предварительно натянутых раскосов или о возникновении резонансного вихревого возбуждения в отдельных элементах конструкции. Измерения натяжения гибких раскосов выполняется с помощью датчика закрепленного на раскосе. Натяжения раскоса определяется по частоте колебания раскоса. Точность такого метода определения натяжения в раскосах достаточно высокая в пределах 95%. Данные подтверждены результатами проведенных экспериментов, опубликованных в статье [13]

В качестве примера приведем измерение динамических параметров для башни высотой 200 м в г. Самара (см. Рисунок 4, 5 и 6).



Рисунок 4. Башня высотой 200 м в г. Самара. Период основного тона собственных колебаний башни составил 3.6 с, декремент колебаний 0.0141-0.0112.



Рисунок 5. Датчик, закрепленный на поясе башни в процессе измерения на отметке +140.000 м.

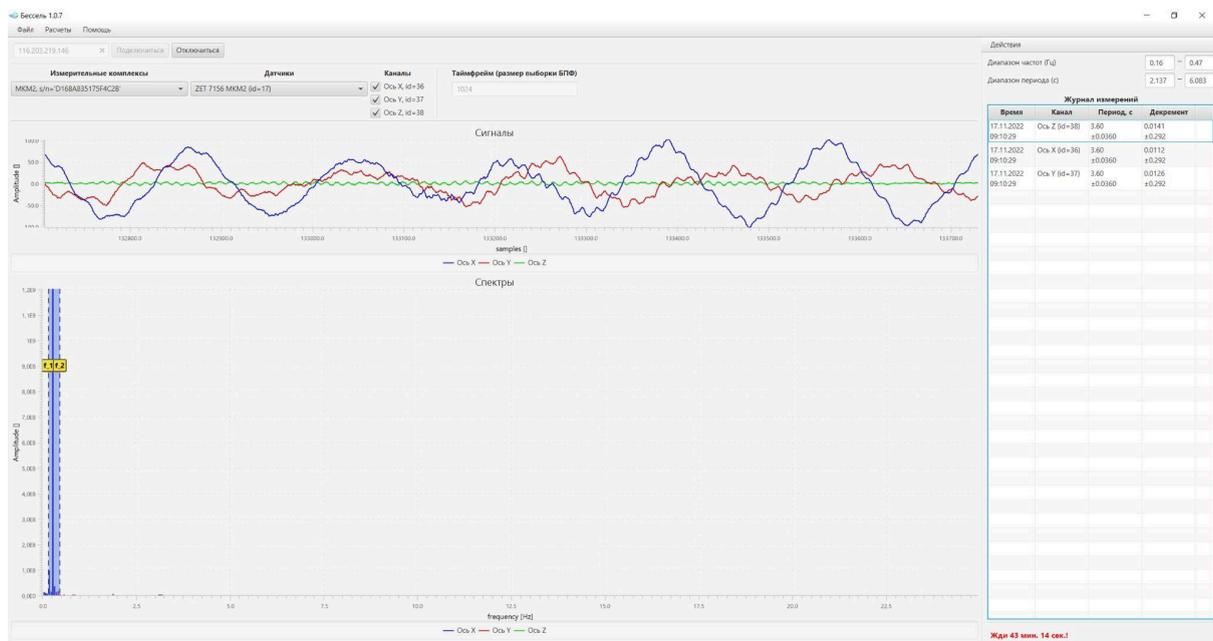


Рисунок 6. Процесс вычисления динамических параметров башни в г.Самара. На рисунке представлен интерфейс ПАК СММК Бессель.

Аналогичным образом было проведено определение динамических параметров еще на ряде объектов. Данные по этим измерения сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты определения динамических параметров.

№	Наименование объекта	Измеренный период основного тона собственных колебаний, с	Расчетный период основного тона собственных колебаний, с	Сходимость, %	Расчетный логарифмический декремент затухания
1	Башня высотой 70м в н.п. Приозерск	1.09	1,05	96.2	0.0444-0.0508
2	Башня высотой 70м в н.п. Первомайское	1.17	1.14	97.4	0.0603-0.0800
3	Башня высотой 180м в н.п. Глубокое	2.07	1.93	92.7	0.0723-0.120
4	Башня высотой 200м в г. Самара	3.60	3.75	96.0	0.0141-0.0112
5	Мачта высотой 220м в н.п. Тотьма	2.78	2.70	97.1	0.0691-0.0307
6	Мачта высотой 92.6м в н.п. Высокая	1.28	1.11	84.7	0.258-0.162
7	Мачта высотой 246м в н.п. Курилово	3.31	3.46	95.7	0.0473-0.110

Полученные характеристики являются важным критерием 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 должно выполняться на протяжении всего периода эксплуатации объекта, в частности, до и после навески антенного оборудования [14]. При интерпретации полученных данных измерений должно учитываться текущее состояние объекта.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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. 29-29
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. 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.
5. Сопегин Г.В., Сурсанов Д.Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. – 2016 – Том 12 Выпуск 2(101) - с. 230-242.
6. 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.
7. Алмазов В.О., Климов А.Н. Экспериментальное исследование напряжённо-деформированного состояния конструкций высотного здания. // Вестник МГСУ – 2013 - №10 – с. 102-109.
8. Carlos Rebelo, Rui António Duarte Simões, José Henriques, Luís Simões da Silva Long-term monitoring of a eighty meters high wind turbine steel tower // IABSE Symposium Report · January 2008, DOI: 10.2749/222137808796106459.
9. Max Botz, Christian Grosse, Manuel Raith Monitoring of Wind Turbine Structures with Concrete-steel Hybrid-tower Design // Conference Paper · July 2016.
10. 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.
11. Ишков А.Н., Шмелёв 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.
12. Климов А.Н. Прогноз развития напряжённо-деформированного состояния конструкций высотного здания на основании данных системы мониторинга // Жилищное строительство – 2013 – 11 – с.13-16.
13. Степанов Д.В., Макаров А.В., Маершин Р.В., Валов А.В., Зубанов Е.С., Облетов Е.Н. Методика определения тяжения в предварительно

напряженном раскосе башни // Приволжский научный журнал. - 2023 - № 2, с. 44-49

14. 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
15. Степанов Д.В., Макаров А.В., Маёршин Р.В., Зубанов Е.С., Облетов Е.Н. Результаты эксплуатации систем постоянного мониторинга технического состояния АМС // Отданы на публикацию
16. Степанов Д.В., Макаров А.В., Маёршин Р.В., Валов А.В., Зубанов Е.С., Облетов Е.Н. Критерии оценки динамических параметров при общем мониторинге технического состояния АМС // Отданы на публикацию