

АВТОНОМНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОНИТОРЫ ВИБРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Кирпичёв Александр Александрович

*Директор ООО «ГлобалТест», г.Саров, Нижегородская область,
кандидат технических наук*

Татаркин Сергей Анатольевич

*Старший научный сотрудник, главный геофизик
ООО «ПИ Геореконструкция», г.Санкт-Петербург,
кандидат технических наук*

Миронов Алексей Георгиевич

Директор «D un D centrs», г.Рига, Латвия

В настоящее время ООО «ГлобалТест» выпускает полный спектр (более 300 типов) пьезоэлектрической датчиковой аппаратуры, включая вибропреобразователи с зарядовым выходом и со встроенной электроникой (широкого применения, промышленные и специального назначения), датчики давления, датчики силы, преобразователи акустической эмиссии, вибровыключатели, виброконтроллеры, калибраторы, усилители и согласующие электронные устройства. Их назначение – измерение и анализ механических колебаний и ударов, виброакустические исследования и испытания, непрерывный мониторинг и техническая диагностика промышленного оборудования, аттестация рабочих мест и промышленная санитария [1].

Число заказчиков быстро растет и уже превышает полторы тысячи. Почти у каждого заказчика – свои специфические требования.

По техническому заданию компании «D un D centrs» (Латвия, г.Рига) [2] разработаны автономные диагностические мониторы вибрации АДМВ-01 (рис.1) и АДМВ-02 (рис. 2), предназначенные для мониторинга состояния строительных конструкций, зданий и сооружений по ISO 4866: 2010 [3]. Основные технические характеристики АДМВ-01 и АДМВ-02 представлены в табл. 1.

АДМВ-01 и АДМВ-02 обеспечивают:

- измерение пиковых значений виброускорения или виброскорости по трём направлениям;
- накопление данных во внутренней памяти;
- сравнение измеряемых значений с заданными пределами и сигнализацию превышения;
- синхронизация встроенных часов реального времени по часам ПК;
- управление и считывание информации через порт USB.



Рис. 1



Рис. 2

Таблица 1

Наименование	Размерность	АДМВ-01	АДМВ-02
Рабочий диапазон частот с затуханием на границах не более 1 дБ	Гц	3 - 200	
Диапазон амплитуды измеряемого виброускорения	м/с ²	0,05-50	
Диапазон амплитуды измеряемого виброскорости	мм/с	0,05-50	
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 20 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	3	
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 30 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	200	
Объём внутренней памяти	кБайт	95,5	
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений виброускорения и виброскорости соответственно в диапазонах (0,5-50) м/с ² и (0,5-50) мм/с	дБ	0,5	
Длительность одного замера	τ, с	2 - 20	
Периодичность замеров	t, с	5 - 600	

Окончание табл. 1

Наименование	Размерность	АДМВ-01	АДМВ-02
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси	-	16 320	
Время непрерывной работы	мес.	3	
Диапазон рабочих температур	$^{\circ}\text{C}$	-20 ... +60	
Влажность окружающего воздуха	%	50 ÷ 100	
Габаритные размеры	мм	80×105×62	
Масса	г	700	
Питание: – внутреннее от 2-литиевых батарей типа SL-360P; – внешнее питание (при передаче накопленных данных по GSM/GPRS каналам)	-	3,6В 2300мАч	
		-	9...15В, 500мА

Кроме того АДМВ-02 обеспечивает:

- передачу данных по GPRS каналу на заданный адрес электронной почты. Передачу уведомляющих и тревожных SMS-сообщений по GSM каналу;
- управление и считывание информации через порт USB и посредством SMS.

Одним из первых применений АДМВ-01 и АДМВ-02 был мониторинг зданий в зоне исторической застройки г. Риги при проведении буровых работ, погружении свай и строительных работ на примыкающем участке (рис.3 – АДМВ установлен а) на стене, б) на цоколе, в) на фундаменте). АДМВ-01 и АДМВ-02 были установлены в составе станций с терморегулированием и электрическим питанием. В процессе мониторинга определялись и регистрировались уровни вибрации, сравнивались с заданным в соответствии с международными стандартами пределом и, в случае превышения, руководителю работ отправлялось сообщение, после чего он принимал решение о прекращении работ или изменении режимов работы оборудования. В результате, мониторинг вибрации позволил избежать опасных вибрационных и ударных воздействий на контролируемые объекты.



а)

б)

в)

Рис. 3

По техническому заданию Института архитектурно-строительного проектирования, геотехники и реконструкции (Россия, г.Санкт-Петербург) [4], разработаны АДМВ-06 (рис. 4) и АДМВ-07 (рис. 5), предназначенные для обследования и мониторинга строительных конструкций, зданий и сооружений по ГОСТ Р 53778-2010, ГОСТ Р 54859-2011 [5, 6]. Основные технические характеристики представлены в табл. 2 и 3, соответственно.



Рис. 4



Рис. 5

Таблица 2

Наименование	Размерность	АДМВ-06
Одновременное измерение вибрации по осям	-	X, Y, Z
Рабочий диапазон частот	Гц	0,1 – 200
Амплитудный диапазон	м/с ²	0,0005-15
Основная относительная погрешность, не более	дБ	1,5

Таблица 2

Наименование	Размерность	АДМВ-06
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 40 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	0,1
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 120 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	200
Нелинейность АЧХ в полосе частот измерения, не более	дБ	1
Максимальное время непрерывной регистрации данных	ч	68
Объем внутренней памяти	МБайт	1024
Время непрерывной работы без подзарядки	дней	14
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси (отсчетов)	-	$1,2 \cdot 10^8$
Рабочий диапазон температур	$^{\circ}\text{C}$	-20...+60
Влажность окружающего воздуха	%	50...100
Общие габаритные размеры	мм	173x122x138
Масса не более	Кг	2,6
Питание: от встроенной аккумуляторной батареи Li-ion	-	7,2В; 5400 мА·ч

Таблица 3

Наименование	Размерность	АДМВ-07
Одновременное измерение вибрации по осям	-	X, Y, Z
Диапазон амплитуды измерения пикового значения виброускорения	м/с ²	0,007 - 7
Диапазон измерения среднеквадратичного значения (СКЗ) виброускорения	м/с ²	0,005-5
Диапазон измерения пикового значения виброскорости	мм/с	0,07-70
Диапазон измерения СКЗ виброскорости	мм/с	0,05-50
Рабочий диапазон частот в режиме измерения виброускорения с затуханием на границах не более 1 дБ	Гц	1 - 150
Рабочий диапазон частот в режиме измерения виброскорости с затуханием на границах не более 3 дБ и 1 дБ соответственно	Гц	2 - 150
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	1

Окончание табл. 3

Наименование	Размерность	АДМВ-07
Встроенный фильтр верхних частот (ФВЧ) со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 3 дБ	Гц	2
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	150
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений виброускорения и виброскорости	дБ	1,5
Суммарная нелинейность АЧХ в полосе частот измерения не более	дБ	1
Длительность одного замера	с	1 - 255
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси	-	10^8
Время непрерывной работы от встроенного аккумулятора без передачи данных по E-mail	ч	48
Время непрерывной работы от встроенного аккумулятора с передачей данных по E-mail 1 раз в 10 мин	ч	> 12
Диапазон рабочих температур: при работе от встроенного аккумулятора при работе от внешнего питания	$^{\circ}\text{C}$	0...+40 -20...+60
Габаритные размеры	мм	125x110x82
Масса	г	700
Питание: – от внутреннего источника постоянного тока; – внешнее питание (при передаче накопленных данных по GSM/GPRS каналу)	-	7,2В/2800мАч 12В/1А

АДМВ-06 обеспечивает:

- автономное измерение и записи сигнала виброускорения по трём направлениям;
- синхронизацию встроенных часов реального времени по часам ПК;
- задание длительности времени измерения;
- управление и считывание информации через порт USB.

АДМВ-07 обеспечивает:

- автономное измерение и накопление пиковых и/или среднеквадратических параметров вибрации (виброускорения или виброскорости);
- пробуждение прибора и начало записи по уровню вибрации или в заданное время;

- синхронизация встроенных часов реального времени по часам ПК;
- прекращение записи при вибрации ниже уровня покоя в течение заданного времени;
- передача уведомляющих и тревожных SMS-сообщений по GSM-каналу;
- передача накопленных данных на заданный адрес электронной почты по GPRS-каналу;
- управление через порт USB и посредством SMS.

Примеры применения АДМВ-06 приведены в технических заключениях [7-10].

При обследовании перекрытия под тронным залом Большого Павловского дворца по адресу: г.Санкт-Петербург, г.Павловск, ул. Садовая, д.20. (рис. 7) было произведено три расстановки четырёх АДМВ-06. Определены динамические параметры деревянного перекрытия:

- декременты затухания;
- СКЗ виброускорения;
- собственные частоты колебаний.

Заключение:

Признаки существенных дефектов отсутствуют.

Несущие конструкции находятся в работоспособном состоянии.

Для ликвидации зыбкости перекрытия рекомендовано повысить его жесткость.

При мониторинге окружающей застройки (магистрального коллектора) при строительстве 11-этажного здания по адресу: г.Санкт-Петербург, Красногвардейский район, Малоохтинский пр., д. 45 (рис. 8).



Рис. 7



Рис. 8

Произведена одна расстановка четырёх АДМВ-06 на 11-м этаже. Контролировались динамические спектры отклика колебаний обделки коллектора.

Заключение:

За четыре месяца строительства существенных изменений в структуре грунта и отделки коллектора не произошло.

При обследовании двух зданий 1815 года постройки по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Фурштатская, д.14 (рис. 9), д.16 (рис. 10).



Рис. 9

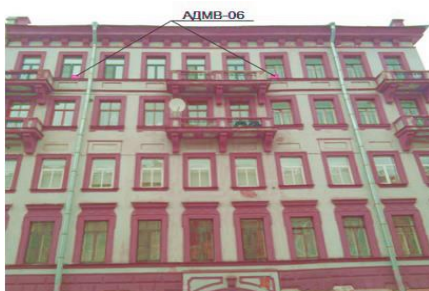


Рис. 10

Расстановка АДМВ-06 произведена на несущих стенах и на лестничных клетках на уровне пятого, третьего и первого этажей.

По методике МЧС регистрировались сигналы от удара груза 30 кг на верхних этажах. Определены динамические параметры зданий:

- частоты колебаний основного тона по трём координатам;
- формы мод колебаний;
- декременты затухания.

Составлены паспорта по ГОСТ Р 53778-2010.

Заключение:

Здания неаварийные и находятся в ограниченно работоспособном состоянии.

При обследовании трёх флигелей здания 1798 года постройки по адресу: г. Санкт-Петербург, В.О., Иностраный переулок, д.2 (рис. 11-13).

По флигелю 1 (2-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались в подвале, на 1-м и на 2-м этажах, у трещины 5 см длиной несколько метров и вдали от неё.

По флигелю 2 (3-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались в подвале, на 1-м, 2-м и 3-м этажах.



Рис. 11



Рис. 12



Рис. 13

По флигелю 3 (3-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались на 3-м этаже у трещины 2-3 см длиной 2 м.

Регистрировались сигналы возбуждаемые микросейсмами.

Сравнивались частоты основного тона с аналогичными типами зданий.

Определялись значения передаточной функции.

Заключение:

Флигель №1 – в предаварийном состоянии.

Флигель №2 – находится в ограниченно работоспособном состоянии.

Флигель №3 – имеет локальный аварийный участок, примыкающий к строительной площадке нового здания с подземными этажами.

Необходимо усиление фундамента и проведение постоянного мониторинга в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53778-2010 и СНИП 2.02.01-83.

Динамический мониторинг технического состояния исторических, уникальных и ответственных зданий и сооружений начинает играть всё более важную роль в обеспечении их безопасной и эффективной эксплуатации. В безопасной и эффективной эксплуатации заинтересованы эксплуатирующие строительные и страховые организации.

Приведенные примеры применения АДМВ будут полезны широкому кругу специалистов, связанных с контролем технического состояния и оформлением паспортов зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Каталог фирмы ООО «ГлобалТест» // Электронный ресурс: www.globaltest.ru
2. Электронный ресурс: www.ddcentrs.lv
3. ISO 4866:2010. Вибрации стационарных сооружений. Руководство по измерению вибрации и оценки их влияния на сооружения.
4. Электронный ресурс: www.geogec.spb.ru
5. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования технического состояния.
6. ГОСТ Р 54859-2011. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний.
7. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение по обследованию геофизическими методами перекрытия под Тронным залом Большого Павловского дворца, расположенного по адресу: г.Санкт-Петербург, г.Павловск, ул. Садовая, д.20. – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2013.
8. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение геотехнического мониторинга окружающей застройки (магистрального коллектора) при строительстве 11-этажного здания по адресу: г.Санкт-Петербург, Красногвардейский район, Малоохтинский пр., д.45., лит. А. – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2014.
9. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение обследования двух зданий 1815 года постройки по адресу: г.Санкт-Петербург, ул. Фурштатская, д.14, д.16. – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2013.
10. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение обследования трёх флигелей здания 1798 г. постройки по адресу: г.Санкт-Петербург, В.О., Иностраный переулк, д.2. – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2014.