

**А.А. Кирпичев, А.А. Редюшев,
А.А. Симчук, В.Я. Смирнов**

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА МЕСТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В последние годы необходимость точного измерения параметров ударов и механических колебаний стала чрезвычайно важной. Это вызвано постоянно возрастающей ролью средств вибромониторинга и технической диагностики в различных отраслях промышленности, напрямую связанной с безопасностью жизни и деятельности человека, предотвращением экологических катастроф и т.д. В результате значительно увеличиваются номенклатура и объем виброизмерительной аппаратуры, применяемой на промышленных объектах. В такой аппаратуре в качестве первичных датчиков, передающих информацию о параметрах вибрации, как правило, используются вибропреобразователи (ускорения, скорости, перемещения). «Закон об обеспечении единства измерений» предусматривает обязательное использование средств измерений (СИ) утвержденных типов в областях применения, подконтрольных сферам государственного метрологического контроля и надзора, что требует обязательности поверки СИ. Для иных СИ достаточно процедуры калибровки.

В общем случае поверка охватывает процедуры определения всех основных метрологических характеристик преобразователя, которые влияют на точность осуществляемых с его помощью измерений. Даже в том случае, когда характеристики преобразователя мало изменяются в процессе эксплуатации, практика качественных измерений и, в частности, вышеупомянутый закон заставляют пользователей вибропреобразователей подтверждать результатами первичной поверки и проводить периодическую поверку преобразователей через заданные интервалы времени.

В нашей стране применяют преимущественно два основных метода поверки (калибровки). Коэффициент преобразования в направлении главной оси вибропреобразователя в заданном амплитудном и частотном диапазонах определяется либо методом абсолютной градуировки, либо методом непосредственного сличения. Основные

методы калибровки подробно описаны в серии стандартов ISO 16063.

Абсолютный метод предполагает, что коэффициент преобразования вибропреобразователя определяется путем измерений с использованием основных и производных единиц физических величин.

В настоящее время наиболее удобным методом абсолютной калибровки является лазерная интерферометрия. На калибровке вибропреобразователей интерференционным методом мы останавливаться не будем. Используемые принципы описаны в различных статьях [1-3] и включены в рекомендации [4]. Все они основаны на чрезвычайно стабильной и хорошо известной длине волны излучения лазера. Однако этот метод является достаточно дорогостоящим и требует значительных затрат времени на поверку.

Метод непосредственного сличения предполагает, что коэффициент преобразования поверяемого вибропреобразователя определяется путем сравнения с известным коэффициентом преобразования эталонного преобразователя (ЭП) [5].

По сравнению с абсолютным методом, использующим лазерный интерферометр, метод непосредственного сличения проще в реализации и требует менее сложной и дорогостоящей аппаратуры. Поэтому метод непосредственного сличения является весьма привлекательным для обычного пользователя и разработчиков виброаппаратуры.

Точность поверки, разумеется, зависит от применяемого метода. Поскольку метод непосредственного сличения требует использования ЭП, основные метрологические характеристики которого определены абсолютным методом, точность поверки методом непосредственного сличения будет во всех случаях ниже точности поверки абсолютным методом.

Как правило, поверка и калибровка вибропреобразователей проводится в лабораторных условиях, что не совсем удобно пользователям. В

Таблица 1

Характеристики эталонного вибропреобразователя

Наименование	Размерность	AP10
Коэффициент преобразования ($\pm 3\%$)	мКл/г	1
Амплитудный диапазон	г	$\pm 1\,000$
Максимальный удар (линейное значение)	г	$\pm 2\,000$
Частотный диапазон		
- неравномерность $\pm 1\%$	Гц	0,5 ... 3 000
- неравномерность $\pm 2\%$		0,5 ... 5000
- неравномерность $\pm 6\%$		0,5 ... 10000
Резонансная частота	кГц	> 30
Относительный коэффициент поперечного преобразования	%	< 3
Деформационная чувствительность	г/тн / мм	$< 0,000\,5$
Рабочая температура	°C	-60 ... +200
Электрическая емкость	пФ	30
Сопротивление изоляции в нормальных условиях	МОм	$> 1\,000$
Масса (без кабеля)	г	45



Рис. 1. Внешний вид и габаритные размеры AP10



связи с этим актуальным становится проведение поверки (калибровки) на месте эксплуатации, что исключает необходимость транспортировки СИ в аккредитованные центры [6].

При использовании метода сличения большинством метрологических центров в качестве эталонного виброметра, передающего размер единицы виброускорения, используют приборы фирмы «Брюль и Кьер»: эталонный вибропреобразователь мод. 8305 с согласующим усилителем мод. 2626, 2635, «NEXUS». Также известны эталонные вибропреобразователи фирмы «Эндекко», «РСВ». В 80-е годы прошлого столетия ПО «Виброприбор», г. Таганрог, разработало и выпустило небольшой серийный эталонный вибропреобразователь ВДО-101. В настоящее время он не выпускается.

Для решения проблемы выпуска эталонной виброаппаратуры ООО «ГлобалТест», г. Саров, разработало и выпускает эталонные средства, которые также могут быть использованы для пе-

редачи размеров единиц параметров вибрации наряду с вышеперечисленными виброприборами иностранного производства: эталонный вибропреобразователь AP10 (рис. 1) и измерительный усилитель AP5100 (рис. 2). Характеристики указанных приборов представлены в табл. 1 и 2 соответственно. Для сравнения в табл. 3 представлены также характеристики зарубежных эталонных вибропреобразователей.

Вибропреобразователь AP10 имеет прочный корпус из нержавеющей стали. Чувствительный модуль выполнен из набора кварцевых пластинок, что обеспечивает надежность, долговременную и температурную стабильность метрологических характеристик. По основным техническим и метрологическим характеристикам AP10 близок к вибропреобразователю 8305. В настоящее время проводятся испытания для целей утверждения типа СИ эталонного вибропреобразователя AP10 ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург. Особенность испытаний состоит в необходимости определения долговременной стабильности коэффициента преобразования данного вибропреобразователя. Первые результаты, полученные при испытаниях, подтверждают основные метрологические характеристики эталонного вибропреобразователя, перечисленные в его технических условиях.



Рис. 2. Измерительный усилитель AP5100

Характеристики измерительного усилителя AP5100

Наименование	Размерность	AP5100
Диапазон входного напряжения	B	± 10
Диапазон входного заряда	мКл/%	10^3
Частотный диапазон на уровне минус 3 дБ	Гц	0,3 ... 10^3
Входное сопротивление	Ом	$> 10^9$
Выходное сопротивление	Ом	< 100
Максимальное выходное напряжение при коэффициенте нелинейных искажений $\leq 5\%$	B	± 10
Среднеквадратическое значение шума (приведенное ко входу)	мкВ	≤ 10
Питание датчиков со встроенным предусилителем:		
- напряжение	B	+24
- ток	мА	3,6
Коэффициент масштабирования по напряжению, (погрешность $\pm 0,5\%$)	-	1, 2, 5, 10, 50, 100, 200, 500
Коэффициент масштабирования по заряду, (погрешность $\pm 0,5\%$)	мВ/мКл	0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500
Дополнительная погрешность коэффициента преобразования AP5100 в температурном диапазоне от 0 до $+50^\circ\text{C}$	%	1
Коэффициент кондиционирования:		
- по напряжению	B/ед.	1 ... 10,99 с шагом 0,01
- по заряду	мКл/ед.	
Основная погрешность измерений:		
- СКЗ ускорения	%	± 1
- СКЗ виброскорости		$\pm 1,5$
Встроенные фильтры высоких частот со спадом АЧХ не менее 20 дБ/декаду на уровне -3 дБ	Гц	0,3; 1,0; 3,0; 10
Встроенный фильтр низких частот со спадом АЧХ не менее 30 дБ/декаду на уровне минус 3дБ	кГц	1, 3, 10, 30
Напряжение питания	B	+ (12 \pm 2)
Ток потребления	мА	< 600
Тип входных соединителей:		
- несимметричный зарядный	-	10-32, BNC
- симметричный зарядный		TWIN BNC
- со встроенным предусилителем		BNC
Тип выходных соединителей		BNC
Питание	-	Автономное и сетевое от адаптера
Габариты	мм	195x145x120
Масса	г	1 200

Измерительный усилитель AP5100 является удобным современным средством измерения с возможностью автономной работы, а наличие программного обеспечения позволяет использовать его в составе информационно-измерительных систем. AP5100 имеет следующие особенности:

- измерение виброускорения и виброскорости в режимах усилителя заряда и усилителя напряжений;
- симметричный и несимметричный входы;
- управление режимом работы с панели управления и через порты RS-232, USB;
- режим тестирования работы усилителя;
- режим кондиционирования;
- возможность подготовки протокола измерений;
- режим индикации перегрузки.

Испытания измерительного усилителя завершены во ФГУ «Ростест-Москва», и в ближайшее время ожидается внесение прибора в Госреестр СИ.

Для решения вопроса поверки (калибровки) средств измерений параметров вибраций в месте эксплуатации в ООО «ГлобалТест» на завершающей стадии разработки находится калибратор АТ03 со встроенным виброметром. Он предназначен для поверки (калибровки) вибропреобразователей с возможностью измерения амплитудно-частотной характеристики. Предполагаемые характеристики:

- частотный диапазон 80...6300 Гц (М шаг. = 0...150 г);
- уровень ускорения 0,2...1 г;

Таблица 3

Характеристики эталонных вибропреобразователей

				
Тип	Endevco 2270	PCB 301A11	PCB 301A12	B&K 8005
Коэффициент преобразования	2,2 мВ/г	100 мВ/г	0,5 мВ/г	1,25 мВ/г
Амплитудный диапазон, г	1000	50	10 000	1 000
Частотный диапазон, Гц	2 ... 20 000	0,5... 10 000 (5 %) 0,3... 14 000 (10 %) 0,2... 20 000 (30 %)	1... 10 000 (5 %)	0,2... 3 750 (1 %) 0,2... 5 300 (2 %)
Резонансная частота, кГц	55	> 35	> 30	30
Относительный коэффициент потерь преобразования, %		< 3	< 3	< 2
Рабочая температура, °C	-54 ... +177	-54 ... +121	-54 ... +121	-74 ... +200
Габаритные размеры (диаметр x высота), мм	15,88 x 28,4	30,2 x 38,1	16 x 29	13,5 x 29,1
Вес, г	40	176	42	40

- автономное питание;
- возможность подключения внешнего источника питания напряжением +12 В и током не менее 1 А;
- измерение и индикация виброускорения, создаваемого калибратором;
- измерение и индикация осевой чувствительности вибропреобразователей в единицах ускорения, скорости, длины;
- управление режимом работы с панели управления и через порт USB, обеспечивающее:
 - измерение амплитудно-частотной характеристики в режиме случайной вибрации и в трехточечном ряду частот;
 - переключение входа «заряд – ИСР»;
 - изменение воспроизводимых частоты и ускорения;
 - TEDS-программирование поверяемых и калибруемых датчиков;
 - ведение протокола измерений.

Таким образом, можно надеяться, что в ближайшее время в нашей стране будут серийно выпускаться современные эталонные СИ, которые в полной мере смогут заменить аналогичную дорогостоящую импортную виброаппаратуру.

Список литературы:

1. Холман П. Измерения механических колебаний лазерными интерферометрами для градуировки вибродатчиков // Акустика. 1972. Т. 26.
2. Дефуррари Х.А., Дабри Р.А., Андрос Ф.А. Измерения вибрационных перемещений и фазовых изменений с использованием лазерного интерферометра // Журнал акустического общества Америки. 1967. Т. 52. № 5.
3. Лихт Торбен Р., Андерсен Х. Тенденции в градуировке акселерометров // Технический обзор фирмы «Брюль и Кьер». 1987. № 2.
4. ISO 16063 – 11 Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 11. Первичная вибрационная калибровка методом лазерной интерферометрии.
5. ISO 16063 – 21 Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 21. Вторичная вибрационная калибровка методом непосредственного спlicing.
6. Смарнов В.Я. Поверка пьезоэлектрических вибропреобразователей в месте эксплуатации // Мир измерений. 2007. № 5.

Александр Александрович Киринцев,

канд. техн. наук, директор,

Андрей Андреевич Редюшев,

канд. техн. наук, исполнительный директор,

Александр Анатольевич Симчук,

начальник лаборатории,

ООО «ГлобалТест»,

г. Саров,

Виктор Яковлевич Смарнов,

канд. техн. наук, руководитель лаборатории,

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,

г. С.-Петербург