МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ВИБРАЦИЯ И УДАР

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Издание официальное

БЗ 8—96

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
Минск

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Российской Федерацией

ВНЕСЕН Техническим секретариатом Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации

2 ПРИНЯТ Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 6—94 от 21 октября 1994 г.)

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Азербайджанская Республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Белоруссия	Белстандарт
Республика Грузия	Грузстандарт
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизская Республика	Киргизстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

3 Настоящий стандарт представляет собой аутентичный текст международного стандарта ИСО 7626-1—86 "Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Основные определения и преобразователи", за исключением приложения Б

4 Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 28 июня 1996 г. № 436 межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 7626-1—94 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 января 1997 г.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 1996

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Госстандарта России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения и единицы измерения 1
4 Определения 2
5 Основные требования к преобразователям 7
6 Калибровка 9
7 Представление данных 18
Приложение А Определение демпфирования и податливости крепления импедансной головки. 22
Приложение Б Некоторые особенности применения терминов в русскоязычной и англоязычной литературе 25

Введение

Измерение подвижности, а также таких характеристик, как ускоряемость или динамическая податливость, как правило, является одним из этапов решения следующих задач:

- предсказание отклика объекта на известное входное возбуждение;
- определение модальных характеристик объекта (форм мод, собственных частот и коэффициентов демпфирования);
- описание динамического взаимодействия конструкций;
- проверка адекватности математических моделей;
- определение динамических свойств (комплексных модулей упругости) материалов.

Все положения настоящего стандарта справедливы как для измерения подвижности, так и таких характеристик, как ускоряемость и динамическая податливость, однако для простоты везде в тексте используется понятие подвижности. Для перехода от одной частотной характеристики к другой достаточно произвести соответствующие преобразования характеристик движения, например виброускорения в виброскорость.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Вибрация и удар

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ

Основные положения

Vibration and shock. Experimental determination of mechanical mobility. Basic definitions

Дата введения 1997—01—01

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт является руководством по выбору, калибровке и оценке работоспособности преобразователей силы, вибрации, импедансных головок и аппаратуры, необходимых для измерения основной и переходной подвижностей объекта, а также способам представления данных измерений подвижности. Стандарт не распространяется на измерения импеданса изделия в условиях затормаживания его поверхности (импеданса холостого хода).

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использована ссылка на стандарт:

ГОСТ 24346—80 (СТ СЭВ 1926—79) Вибрация. Термины и определения

3 ОБОЗНАЧЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения величин:

a — виброускорение, м/с^2;

v — виброскорость, м/с;

x — виброперемещение, м;

f — частота, Гц;

F — сила, Н;

m — масса, кг;

K — жесткость, Н/м;

a_i/F_j — ускоряемость, м/(Н·с^2);

Y_{ij} — подвижность, м/(Н·с);

Издание официальное

x_i/F_j — динамическая податливость, м/Н;

Z_{ij} — импеданс, Н·с/м;

E — выходной сигнал преобразователя, В;

S — коэффициент преобразования, В/(единица измеряемой величины).

4 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В стандарте использованы термины по ГОСТ 24346, а также следующие определения (их англоязычные эквиваленты и особенности применения в литературе даны в приложении Б):

4.1 Частотная характеристика объекта — отношение комплексной амплитуды отклика к комплексной амплитуде вынуждающей силы как функция от частоты возбуждения.

Примечания

1 Данный термин имеет смысл только применительно к линейным системам (объектам). Условия, в пределах которых объект может считаться линейным, должны исследоваться особо. Так, результаты, полученные при использовании одного типа возбуждения (например гармонического), могут быть применимы для прогнозирования при возбуждении другого типа (например импульсного) только при условии сохранения линейности.

2 Отклик объекта (вибрация) может выражаться через виброускорение, виброскорость или виброперемещение. Соответственно измеряемыми величинами частотной характеристики будут ускоряемость, подвижность (механическая) и податливость (динамическая).

3 В случае, когда точки возбуждения i и измерения отклика j совпадают, $i = j$, частотная характеристика называется входной (точечной); случай $i \neq j$ соответствует переходной частотной характеристике.

4.2 Подвижность Y_{ij} — зависящее от частоты отношение комплексной виброскорости в точке i к значению комплексного силового возбуждения в точке j, когда все остальные точки объекта колеблются без каких-либо ограничений, кроме тех, что налагаются наличием опор конструкции.

Примечание — Виброскорость может быть линейной или угловой, а силовое возбуждение может представлять собой силу или момент силы.

4.3 Импеданс Z_{ij} — зависящее от частоты комплексное отношение силы в точке возбуждения i к виброскорости в точке j.

Примечания

1 Следует четко различать значения импеданса, полученные для различных граничных условий конструкции:

а) $Z_{ij}^{(k)}$, когда все остальные измерительные точки конструкции k, $k \neq j$, принуждены к неподвижности (блокированы),

б) $Z_{ij}^{(2)}$, когда все остальные точки конструкции свободны (т.е. на них не действуют внешние силы).

2 Для получения полной матрицы импеданса $Z^{(1)}$ необходимо измерять все силы и моменты, требуемые для обеспечения неподвижности точек конструкции. Вследствие трудоемкости такие измерения редко встречаются на практике и не рассматриваются в настоящем стандарте. Информация о значениях импеданса $Z^{(1)}$ необходима обычно для математического моделирования конструкции как системы дискретных масс, упругих и демпфирующих элементов и демпферов или с помощью метода конечных элементов. Если имеются экспериментальные данные по измерению подвижности, матрицу $Z^{(1)}$ можно получить в результате обращения матрицы подвижности.

3 Величина $Z_{ij}^{(2)}$ является обратной элементу матрицы подвижности, определенному в 4.2. Матрица $Z^{(2)}$ отличается от матрицы $Z^{(1)}$, поэтому следует быть внимательным при интерпретации имеющихся данных.

4.4 Частотные характеристики, связанные с подвижностью

Иногда вместо механической подвижности используются другие характеристики конструкции, представленные в таблице 1.

Таблица 1 — Соотношения различных частотных характеристик, связанных с подвижностью

Параметр вибрации	Частотная характеристика	Символ	Единица измерения
Виброскорость	Подвижность Импеданс	$Y = v/F$ $Z = F/v$	м/(Н · с) Н · с/м
Виброускорение	Ускоряемость Эффективная масса	a/F F/a	м/(Н · с^2) = кг$^{-1}$ Н · с^2/м = кг
Виброперемещение	Динамическая податливость Динамическая жесткость	x/F F_0/x_f	м/Н Н/м

Следует обращать особое внимание на соблюдение всех условий измерения каждой характеристики конструкции; так, для определения ускоряемости и динамической податливости граничные условия должны быть теми же, что и для подвижности (см. 4.2). Типичный график подвижности и соответствующие ему графики ускоряемости и динамической податливости приведены на рисунках 1, 2 и 3.

Примечание – Для характеристик, обратных ускоряемости (эффективная масса) и динамической податливости (динамическая жесткость), справедливо все сказанное в примечаниях к 4.3 в отношении граничных условий.

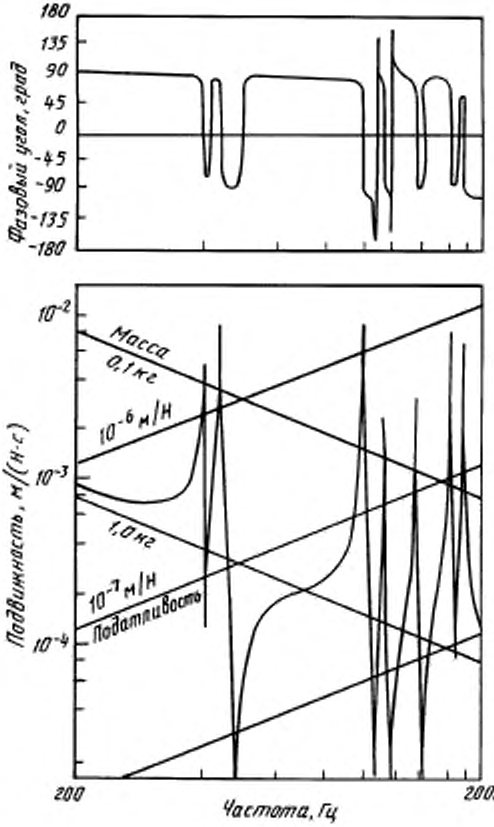
180
135
90
45
0
-45
-90
-135
-180
Фазовый угол, град
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
Подвижность, м/(Н·с)
Масса
0,1 кг
10^{-6} м/Н
1,0 кг
10^{-7} м/Н
Податливость
200
2000
Частота, Гц

Рисунок 1

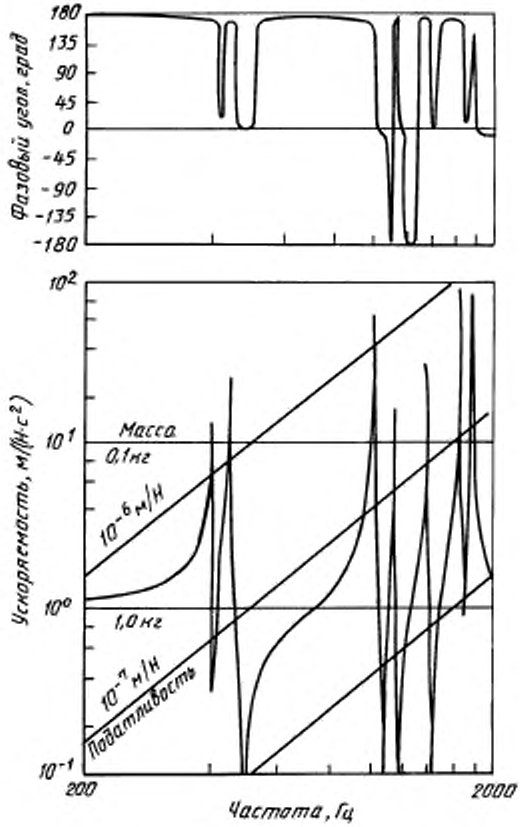
Фазовый угол, град
180
135
90
45
0
-45
-90
-135
-180
Ускоряемость, м/(Н·с²)
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
Масса
0,1 кг
10⁻⁶ м/Н
1,0 кг
10⁻⁷ м/Н
Податливость
200
2000
Частота, Гц

Рисунок 2

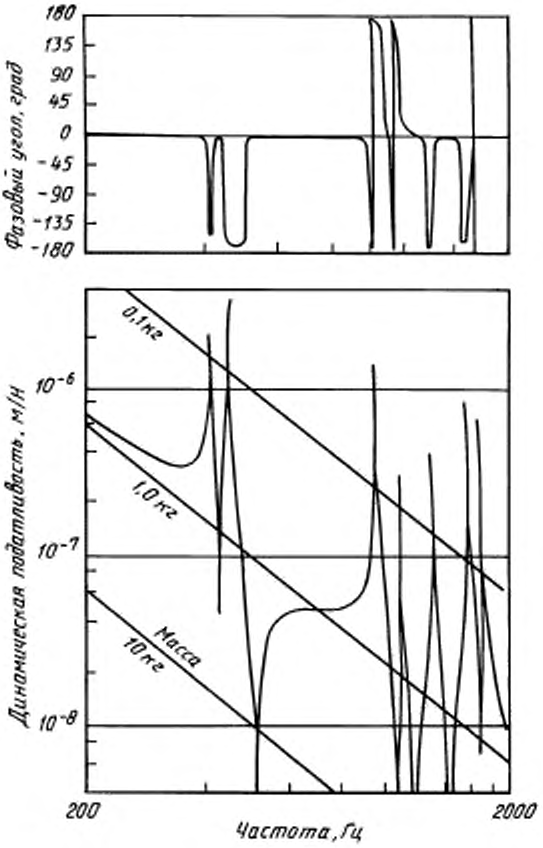
180
135
90
45
0
-45
-90
-135
-180
Фазовый угол, град
0,1 кг
1,0 кг
Масса
10 кг
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
Динамическая податливость, м/Н
200
2000
Частота, Гц

Рисунок 3

4.5 Частотный диапазон измерений — диапазон частот от самой низкой до самой высокой частоты, на котором должны быть получены данные о частотной характеристике в данной серии измерений.

5 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМ

5.1 Общие положения

5.1.1 Коэффициент преобразования должен быть достаточно велик, а уровень собственных шумов преобразователя мал, чтобы обеспечить перекрытие всего динамического диапазона подвижности конструкции.

Примечание — Шумы преобразователя особенно влияют на результаты измерений конструкций с малым демпфированием, поскольку частотные характеристики таких конструкций имеют больший динамический диапазон.

5.1.2 Если искажение частотной характеристики измерительного преобразователя не компенсируется соответствующей обработкой сигнала, то собственная резонансная частота преобразователя должна быть значительно выше или ниже частотного диапазона измерений, чтобы не вносить значительных фазовых искажений.

5.1.3 Коэффициент преобразования должен быть постоянным во времени и иметь незначительный дрейф нуля.

5.1.4 Преобразователи должны быть нечувствительны к воздействиям условий окружающей среды, таких как температура, влажность, электромагнитные и акустические поля, поперечные напряжения.

5.1.5 Масса и момент инерции преобразователя должны быть малы, чтобы можно было пренебречь создаваемой ими динамической нагрузкой на конструкцию или, как минимум, скорректировать ее.

5.2 Требования к преобразователям вибрации

5.2.1 Для сведения к минимуму нагрузки на конструкцию желательно применение бесконтактных вибропреобразователей.

5.2.2 Крепление преобразователя должно быть жестким в направлении его главной оси.

5.2.3 Площадь контакта в месте крепления преобразователя должна быть достаточно мала, чтобы избежать влияния преобразователя или крепежного устройства на конструкцию.

5.2.4 При использовании импульсного возбуждения иногда целесообразно применять вместо пьезоэлектрического преобразователя датчик другого типа, например пьезорезистивный или электродинамический акселерометр. Это связано с тем, что при данном типе возбуждения вследствие пироэлектрического эффекта может возник-

нуть дрейф нуля пьезоэлектрического акселерометра, который приведет к недостаточной точности измерения на низких частотах.

5.3 Требования к преобразователям силы

5.3.1 Эффективная инерционная масса (масса между чувствительным элементом преобразователя, реагирующим на прилагаемую силу, и конструкцией) должна быть малой для уменьшения сигналов от сил инерции, обусловливаемых этой массой.

Примечание — Обычно эта характеристика указывается изготовителем преобразователя в ТУ. Однако следует учитывать, что эффективная инерционная масса увеличивается при использовании приспособлений для крепления преобразователя. Таким образом, полная эффективная инерционная масса представляет собой сумму эффективной инерционной массы, указанной изготовителем, и массы присоединяемых приспособлений.

5.3.2 Жесткость преобразователя силы и его элементов должна быть такова, чтобы исключить появление резонансов в частотном диапазоне измерений. В качестве компромисса допускается компенсировать влияние этих резонансов на сигнал преобразователя за счет соответствующей обработки сигнала.

5.3.3 Предварительная статическая нагрузка чувствительного элемента преобразователя должна соответствовать диапазону вынуждающих сил, требуемых для испытаний. Для этого выпускаются преобразователи со встроенной предварительной нагрузкой.

5.4 Требования к импедансным головкам и крепежным приспособлениям

5.4.1 Импедансная головка — устройство, объединяющее в одном корпусе акселерометр и преобразователь силы, — должна удовлетворять всем требованиям 5.2 и 5.3.

5.4.2 Для исключения погрешностей в измерении ускорения полная податливость между конструкцией и внутренним акселерометром импедансной головки должна быть невелика.

Примечание — Полная податливость есть сумма податливости крепления и внутренней податливости импедансной головки. Податливость импедансной головки есть податливость ее части, расположенной между точкой присоединения к конструкции и внутренним акселерометром. Податливость крепления включает в себя локальную податливость испытуемой конструкции. В приложении А приводится методика измерения полной податливости.

5.4.3 Эффективная инерционная масса (масса между чувствительным элементом датчика силы и испытуемой конструкцией) должна быть малой по сравнению со свободной эффективной массой испытуемой конструкции.

5.4.4 Момент инерции импедансной головки относительно оси, лежащей в плоскости крепления, должен быть достаточно малым, чтобы свести к минимуму нагрузку на конструкцию от угловых перемещений относительно этой оси.

5.4.5 Поперечная чувствительность акселерометра к приложенной силе должна быть мала.

6 КАЛИБРОВКА

6.1 Проводимые калибровки можно разделить на три категории:
- рабочие калибровки системы измерения и анализа;
- основные калибровки преобразователей;
- вспомогательные (дополнительные) калибровки преобразователей.

6.2 Рабочие калибровки

6.2.1 Рабочие калибровки системы измерения и анализа должны выполняться в начале и конце каждой серии измерений и, если это требуется, в промежуточные периоды.

6.2.2 Рабочие калибровки системы измерения и анализа осуществляются посредством возбуждения свободно подвешенной известной массы и измерения отклика. При этом коэффициенты усиления каналов измерения силы и вибрации должны быть эквивалентны тем, что будут использованы в дальнейших измерениях подвижности. В результате измерений на графике подвижности вычерчивается кривая, соответствующая данной испытательной массе.

Примечания

1 Рабочие калибровки системы выполнять проще, они более точны и применяются чаще, чем основные калибровки, описанные в 6.3.

2 Как правило, нет необходимости выполнять калибровку фазовых сдвигов, если преобразователи силы, вибрации и усилители имеют почти плоскую характеристику во всем диапазоне частот измерения и, кроме того, акселерометры обладают малым демпфированием.

6.3 Основные калибровки преобразователей

6.3.1 Основные калибровки следует выполнять при возникновении каких-либо трудностей в осуществлении рабочей калибровки системы. Основные калибровки предназначены для определения пригодности преобразователей для измерения механической подвижности. Описываемые ниже процедуры определены для преобразователей пьезоэлектрического типа, наиболее часто применяемых на практике. При использовании преобразователей других типов необходимо оценить пригодность для них данных процедур.

6.3.2 Преобразователи, предназначенные для использования со

специальными усилителями и устройствами обработки сигналов, должны калиброваться в соответствующих условиях. Так, например, пьезоэлектрические преобразователи силы, импедансные головки и акселерометры предназначены для применения с усилителями заряда или усилителями напряжения, обладающими высоким импедансом, и должны калиброваться совместно с этими усилителями. Для таких преобразователей важно учитывать емкость кабелей соединения преобразователей с усилителями, поэтому калибровку следует выполнять с определенными кабелями. Преобразователи других типов должны калиброваться с предназначенными для них устройствами обработки сигналов в соответствии с указанными изготовителем техническими условиями на уровень электрического сигнала, значения выходного импеданса и т.д.

6.3.3 Крепление преобразователей силы и импедансных головок при калибровке следует производить в соответствии с рекомендациями изготовителя (соблюдение плоскостности установочной площадки, соответствующего момента затяжки крепежных винтов и пр.). При этом, если при измерении подвижности используются специальные условия или приспособления (например нанесение тонкой пленки масла, смазки или воска между преобразователем и установочной площадкой для улучшения контакта и повышения жесткости крепления, особенно на высоких частотах), калибровку преобразователей силы следует производить в этих же условиях.

6.3.4 Все основные калибровки и испытания должны производиться изготовителем для каждого преобразователя, и результаты должны быть представлены в документации, поставляемой вместе с преобразователем. Заказчиком (самостоятельно или, при необходимости, с помощью других организаций) основные калибровки проводятся периодически. Рекомендуемый временной интервал между проведением основных калибровок — 1 год (калибровки коэффициента преобразования должны выполняться более часто, особенно если преобразователь предназначен для применения в условиях, которые могут изменить его коэффициент преобразования).

6.3.5 *Виды основных калибровок пьезоэлектрического преобразователя*

6.3.5.1 *Калибровки коэффициента преобразования*

а) Калибровка коэффициента преобразования акселерометра

Коэффициент преобразования акселерометра и акселерометрической части импедансной головки должен определяться методом сравнения. Калибровка выполняется на вибростенде, имеющем образцовый преобразователь, предварительно калиброванный в абсо-

лютных величинах, которые встречаются при измерениях подвижности, в основном, от 1,0 до 100 м/с^2.

Калибровка коэффициента преобразования должна выполняться на одной частоте: обычно используется частота 80 Гц, однако может использоваться и другая частота, если она более подходит для данной конструкции преобразователя или частотного диапазона измерений.

Для акселерометров, предназначенных к эксплуатации вместе с усилителем заряда, коэффициент преобразования должен выражаться в пикокулонах на метр на секунду в квадрате — пК/(м/с^2). Для акселерометров, предназначенных к эксплуатации с усилителем напряжения, а также для акселерометров со встроенным усилителем заряда или импедансным преобразователем коэффициент преобразования должен выражаться в вольтах на метр на секунду в квадрате — В/(м/с^2).

Примечание — Поскольку выходной сигнал усилителя заряда или усилителя напряжения, связанных с акселерометром, всегда выражается в единицах напряжения, то получаемый коэффициент преобразования канала измерения ускорения должен выражаться в вольтах на метр на секунду в квадрате — В/(м/с^2). В общем случае коэффициент преобразования канала определяется по известным значениям коэффициентов преобразований акселерометра и усилителя, но для повышения точности измерения подвижности рекомендуется калибровать акселерометр и усилитель совместно для непосредственного определения коэффициента преобразования канала измерения ускорения.

б) Калибровка коэффициента преобразования датчика силы

Преобразователи силы и соответствующая часть импедансных головок должны калиброваться методом нагрузки массой.

Калибровка коэффициента преобразования должна выполняться на вибростенде, на котором преобразователь подвергается воздействию вибрации с управляемой амплитудой виброускорения a_0. Ускорение a_0, определяемое с помощью образцового акселерометра, прикрепленного к торцовой стороне преобразователя силы, и выходное напряжение усилителя преобразователя силы E_0 должны быть измерены. После этого к торцу преобразователя силы крепится масса нагрузки m и вновь измеряется выходное напряжение E_m (коэффициент усиления и регулировка вибростенда при этом сохраняются неизменными, т.е. $a = a_0$).

Коэффициент преобразования канала измерения силы S_f определяют по формуле

$$S_f = (E_m - E_0)/(m \cdot a). \qquad (1)$$

Формула (1) определяет коэффициент преобразования канала измерения силы (т.е. системы преобразователь — усилитель) в вольтах на ньютон — В/Н. Коэффициент преобразования собственно преобразователя силы может быть рассчитан исходя из полученного значения по формуле (1) и известного коэффициента преобразования используемого усилителя. Коэффициент преобразования датчика силы, предназначенного для применения с усилителем заряда, должен быть выражен в пикокулонах на ньютон — пК/Н, а в случае применения с усилителем напряжения — в вольтах на ньютон — В/Н.

Примечания

1 Для преобразователей силы, поставленных изготовителем не в собранном состоянии, важно обеспечить постоянство предварительной нагрузки в процессе использования и калибровки преобразователя, поскольку коэффициент преобразования сильно зависит от значения предварительной нагрузки.

2 Для точного измерения подвижности целесообразно производить калибровку преобразователя силы и соответствующего усилителя как единого целого для получения коэффициента преобразования канала измерения силы.

3 Описанный метод пригоден только на частотах на 20% ниже резонансной частоты закрепленного преобразователя. Резонансная частота может быть определена с помощью формулы

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{K}{(m + m_1 + m_2 + m_3)}\right]^{1,2}, \qquad (2)$$

где f_n — частота резонанса, нагруженного массой преобразователя;

K — жесткость преобразователя;

m_1 — масса образцового акселерометра;

m_2 — эффективная масса болта;

m_3 — эффективная инерционная масса преобразователя силы.

в) Калибровка коэффициента преобразования импедансной головки

Коэффициент преобразования импедансной головки может быть получен по раздельным калибровкам акселерометра и преобразователя силы с применением вышеописанных методов. Калибровка импедансной головки в процессе эксплуатации обычно проводится путем возбуждения двух или трех масс разного значения. Это позволяет получить уверенность в том, что импедансная головка пригодна для измерения подвижности в широком диапазоне значений.

6.3.5.2 *Определение электрического импеданса*

Сопротивление постоянного тока преобразователя должно измеряться мегомметром при напряжениях не выше 50 В.

Емкость преобразователя должна измеряться с помощью импедансного моста с использованием напряжения возбуждения в преде-

лах диапазона рабочих частот преобразователя. Если емкость изменяется с изменением частоты, то измерения следует выполнить как минимум на двух частотах, включая частоту, на которой должен быть определен номинальный коэффициент преобразования. Если емкость преобразователя с изменением частоты изменяется незначительно, измерения обычно выполняются на частоте 1000 Гц.

Ввиду того, что емкость некоторых пьезоэлектрических материалов изменяется с изменениями температуры и напряжения, измерения емкости должны выполняться при комнатной температуре (20—30 °С) при напряжении возбуждения, указанном изготовителем.

Измерения сопротивления и емкости должны повторяться через соответствующие промежутки времени, как указано в 6.3.4. Поскольку точность этих измерений невелика, учитываться должны только существенные, по сравнению с предыдущими калибровками, изменения. Например, если значение сопротивления или емкости изменилось более чем на 5%, то дальнейшая проверка качества преобразователя должна проводиться путем выполнения всех основных и вспомогательных калибровок, или преобразователь должен быть отремонтирован.

Примечание — Описанный метод измерения емкости следует с осторожностью применять для преобразователей, имеющих встроенные электронные элементы, поскольку он может привести к получению неточных результатов и даже поломке преобразователя.

6.4 Вспомогательные калибровки

6.4.1 Для вспомогательных калибровок справедливы положения 6.3.1—6.3.3. Вспомогательные калибровки должны выполняться изготовителем на образцах преобразователей каждого типа. Кроме этого, некоторые из дополнительных калибровок и испытаний должны выполняться заказчиком для определения состояния преобразователя, у которого обнаруживаются отклонения в рабочих характеристиках.

6.4.2 *Измеряемые характеристики*

6.4.2.1 *Габаритные размеры*

Все размеры, включая высоту, ширину, длину, диаметр преобразователя, а также размеры крепежных отверстий и болтов, должны быть указаны на прилагаемом изготовителем чертеже. Также должны быть представлены описания разъемов, размеры кабелей и их типы.

6.4.2.2 *Масса*

Изготовителем приводится полная масса преобразователя, за исключением массы крепежных болтов и кабелей, которые не являются

неотъемлемой частью преобразователя. Указывается также эффективная инерционная масса преобразователей силы и импедансных головок.

6.4.2.3 *Податливость импедансных головок*

Помимо предоставляемых изготовителем данных о податливости импедансной головки необходимо также в соответствии с процедурой, изложенной в приложении А, получить значения податливости крепления для проверки выполнения требования 5.4.2.

6.4.2.4 *Полярность*

Полярность преобразователя должна быть указана изготовителем и определяться по знаку выходного напряжения при механическом воздействии на преобразователь в направлении от присоединительной поверхности вдоль измерительной оси преобразователя. Понятие полярности распространяется только на преобразователи, имеющие измерительную ось, перпендикулярную к присоединительной поверхности.

6.4.2.5 *Частотная характеристика*

а) Частотная характеристика акселерометра

Калибровка частотной характеристики акселерометра выполняется методом сравнения. Выбор амплитуды виброускорения должен обеспечить соотношение сигнал/шум > 10 (или сигнал/шум > 20 дБ), измерения проводятся по всему частотному диапазону измерений.

Для определения частотной характеристики может применяться гармоническое или широкополосное (случайное или переходное) возбуждение, создаваемое вибростендом.

Гармоническое возбуждение может быть реализовано на дискретных частотах или при непрерывном изменении частоты (развертке по частоте). В первом случае должно быть выбрано достаточно большое количество дискретных частот (порядка десяти на декаду), чтобы убедиться в отсутствии локальных или внутренних резонансов преобразователя в пределах частотного диапазона измерений. Если калибровка выполняется на ограниченном числе частот, необходимо дополнительно использовать развертку по частоте.

Если применяется развертка по частоте, скорость развертки должна быть медленной, а амплитуда возбуждаемого виброускорения должна поддерживаться постоянной во всем частотном диапазоне посредством системы управления с обратной связью, включающей образцовый акселерометр.

В процессе калибровки проверяется выполнение условия: частотная характеристика должна быть плоской в пределах ±5% во всем диапазоне частот измерения. При этом необходимо, чтобы попере-

чные колебания вибростенда с учетом поперечной чувствительности преобразователя не приводили к погрешностям измерения, превышающим ±5%.

б) Частотная характеристика преобразователя силы

Условия калибровки частотной характеристики преобразователя силы те же, что и акселерометра, однако преобразователь силы должен быть нагружен массой и подвергаться колебаниям с постоянной амплитудой на каждой из установленных частот. На каждой из этих частот измеряется выходное напряжение усилителя преобразователя силы E_f. Отклонения частотной характеристики δ_f определяются формулой

$$\delta_f = 100 \cdot (E_f / E_r - 1), \qquad (3)$$

где E_r есть выходное напряжение усилителя преобразователя на опорной частоте (обычно 80 Гц).

Во время калибровки важно убедиться, что нагрузка преобразователя силы массой не приводит к появлению резонанса, зависящего от массы нагрузки и податливости преобразователя. Данное условие можно проверить с помощью формулы (2).

В процессе калибровки проверяется выполнение условия: отклонения частотной характеристики должны быть менее ±5% значения на опорной частоте во всем диапазоне частот измерения.

Примечание — Для преобразователей силы без встроенной предварительной нагрузки, как и в случае с калибровкой коэффициента преобразования, бо́льшая точность достигается, если не изменять момент затяжки болтов крепления преобразователя силы во время калибровки.

6.4.2.6 *Линейность*

Проверки на линейность должны выполняться методом сравнения посредством гармонического возбуждения.

а) Линейность акселерометра

Отклонения от линейности должны определяться путем измерения отношения выходов образцового и испытуемого акселерометров. Это отношение должно измеряться изготовителем, по меньшей мере, для трех уровней виброускорения в верхней декаде диапазона акселерометра. Потребителю целесообразно проверить линейность в диапазоне применения данного акселерометра. Для каждого виброускорения определяется разность в процентах между средним значением отношения, рассчитанным по результатам измерения при всех значениях виброускорения, и значением отношения при данном

виброускорении. Если измеренные отклонения для всех значений виброускорений находятся в пределах ±2%, акселерометр считается пригодным для измерения подвижности.

б) Линейность преобразователя силы

Проверка линейности должна выполняться путем возбуждения нагруженного массой преобразователя силы, обычно на частоте 80 Гц, с различными уровнями виброускорения и последующего измерения выходного напряжения усилителя преобразователя силы. Отклонения от линейности δ_x, выраженные в процентах, определяются из формулы

$$\delta_x = 100 \cdot \left[\frac{E_x / a_x}{(E_x / a_x)_{\text{ср}}} - 1 \right], \qquad (4)$$

где E_x — выходное напряжение усилителя преобразователя силы для данной амплитуды виброускорения, В;

a_x — амплитуда виброускорения, определенная с помощью образцового акселерометра, м/с^2;

$(E_x/a_x)_{\text{ср}}$ — среднее значение отношения амплитуды выходного напряжения усилителя преобразователя силы к амплитуде виброускорения для всех измеренных уровней виброускорения, В/(м/с^2), равное $\sum_{i=1}^{n} (E_x/a_x)_i / n$.

Приложенная сила при данном значении виброускорения вычисляется посредством деления выходной амплитуды E_x на коэффициент преобразования канала преобразования силы, определенный в 6.3.5.1.

Преобразователь силы (или встроенный преобразователь силы в импедансной головке) считается пригодным для использования, если отклонения от линейности не превышают 2% в пределах всего диапазона сил, используемого при измерениях подвижности.

Примечание — Можно использовать другую частоту возбуждения, если частота 80 Гц лежит за пределами рабочего частотного диапазона преобразователя или не соответствует диапазону частот измерения.

6.4.2.7 *Дополнительные калибровки, обусловленные влиянием внешних условий*

а) Проверка изменения коэффициента преобразования при изменении температуры

Обычно целесообразно использовать преобразователи, отклонения коэффициента преобразования которых в зависимости от тем-

пературы не превышают ±1,0% во всем температурном диапазоне применения.

б) Оценка шумов преобразователя, вызванных изменением температуры

Изменения температуры приводят к появлению низкочастотных шумов преобразователей и встроенных усилителей. Как правило, эти шумы расположены ниже рабочего диапазона частот пьезоэлектрического преобразователя и не оказывают влияния на результаты измерения подвижности. Однако при низкочастотных измерениях резкие перепады температуры способны вызвать значительный уровень помех и перегрузку электронных устройств преобразователей, что приведет к погрешностям измерений.

в) Влияние момента затяжки крепления преобразователя силы на коэффициент преобразования

Влияние моментов затяжки на коэффициент преобразования датчика силы можно определить путем проведения калибровки коэффициента преобразования при различных моментах затяжки.

г) Калибровка коэффициента преобразования в поперечном направлении

Калибровки коэффициента преобразования в поперечном направлении должны выполняться на одной частоте ниже 500 Гц. Преобразователь устанавливается на вибростенд, возбуждающий гармонические колебания, таким образом, чтобы амплитуда вибрации в плоскости, перпендикулярной к измерительной оси, была, по крайней мере, в 100 раз выше амплитуды в направлении измерительной оси. Преобразователь последовательно поворачивают вокруг измерительной оси с шагом 45 ° или меньше до полного оборота на 360 °, определяя при этом максимальный коэффициент преобразования в поперечном направлении.

Если коэффициент преобразования в поперечном направлении превышает 5% коэффициента преобразования в направлении измерительной оси или значительно отличается от значения, полученного при предыдущей калибровке, преобразователь подвергают дальнейшим исследованиям путем выполнения дополнительных калибровок, или же он должен быть отремонтирован.

д) Влияние деформации

Влияние деформации на коэффициент преобразования может быть оценено с помощью жестко закрепленной консольной балки. Консольная балка должна иметь первую резонансную частоту, близкую к 5 Гц. Напряжение в месте расположения преобразователя на консольной балке измеряют рядом установленным тензометром.

7 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

Интерпретация данных, полученных в результате испытаний на подвижность, может быть значительно облегчена при использовании соответствующего графического изображения. Обычно используются следующие способы представления данных.

7.1 Графики в логарифмическом масштабе

На частотах много ниже частоты резонанса или антирезонанса конструкции каждая из трех частотных характеристик конструкции представляется в виде почти прямой линии на графике зависимости логарифма измеряемой величины от логарифма частоты. На частотах ниже наименьшей частоты резонанса кривая асимптотически приближается к линии постоянной податливости. На частотах же ниже наименьшей частоты антирезонанса кривая асимптотически приближается к линии постоянной массы. На графиках подвижности линии постоянной податливости направлены вправо вверх с крутизной одна декада подвижности на одну декаду частот, а линии массы направлены вправо вниз с крутизной одна декада подвижности на одну декаду частот, как показано на рисунке 1. Соответствующие линии нанесены и на графиках восприимчивости и динамической податливости (рисунки 2 и 3). На рисунке 4 представлен рекомендуемый вид графической бумаги с намеченными линиями равной массы и динамической податливости.

Для данных в системе СИ линии постоянной динамической податливости, постоянной подвижности и постоянной массы с приращениями в одну декаду значений всегда пересекаются на частотах $1/2\pi$, $10/2\pi$, $100/2\pi$ и т.д. Частота 159 Гц (эквивалентная $1000/2\pi$) удобна для того, чтобы служить опорной частотой.

Соотношение длины шкалы для декады значений характеристики к длине шкалы для декады частот рекомендуется выбирать равным 2/5.

По результатам испытаний должны быть определены показатели степени при числе 10 на графической бумаге для подвижностей равных масс и податливостей.

7.2 Другие способы построения графиков

Иногда предпочтительнее вместо представления на графике амплитуды и фазы результатов испытания на подвижность отображать действительные и мнимые части в зависимости от частоты, как показано на рисунке 5. Иногда может потребоваться представление в полярных координатах (диаграмма Найквиста), как показано на рисунке 6. Преимущество данного представления в том, что количество данных можно увеличить посредством экстраполяции (подгонки

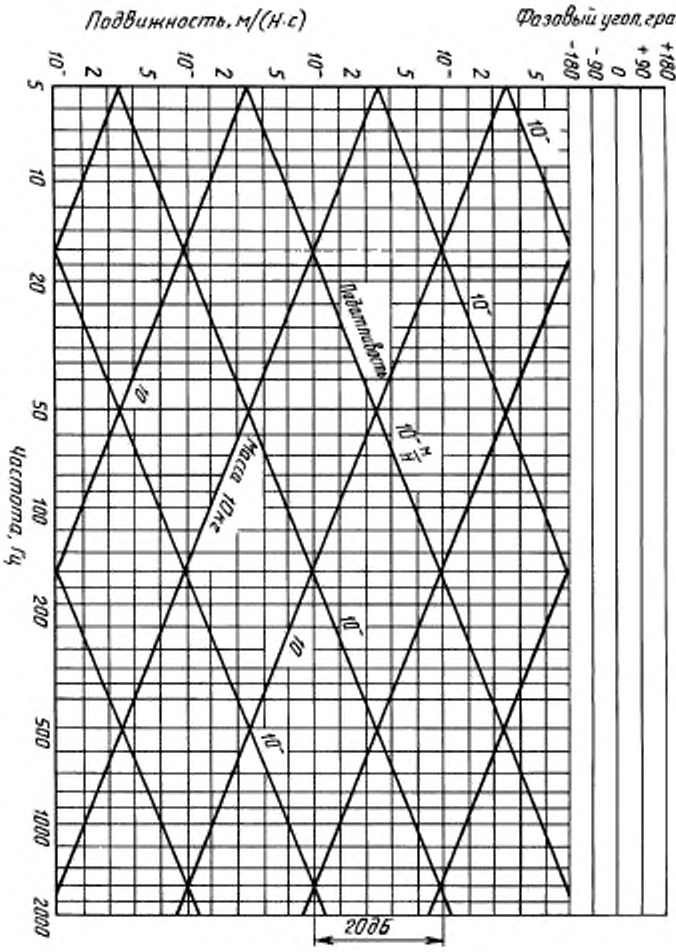
Подвижность, м/(Н·с)
Фазовый угол, град
+180
+90
0
-90
-180
Частота, Гц
5
10
20
50
100
200
500
1000
2000
Подвижность
Масса 10кг
20дБ

Рисунок 4

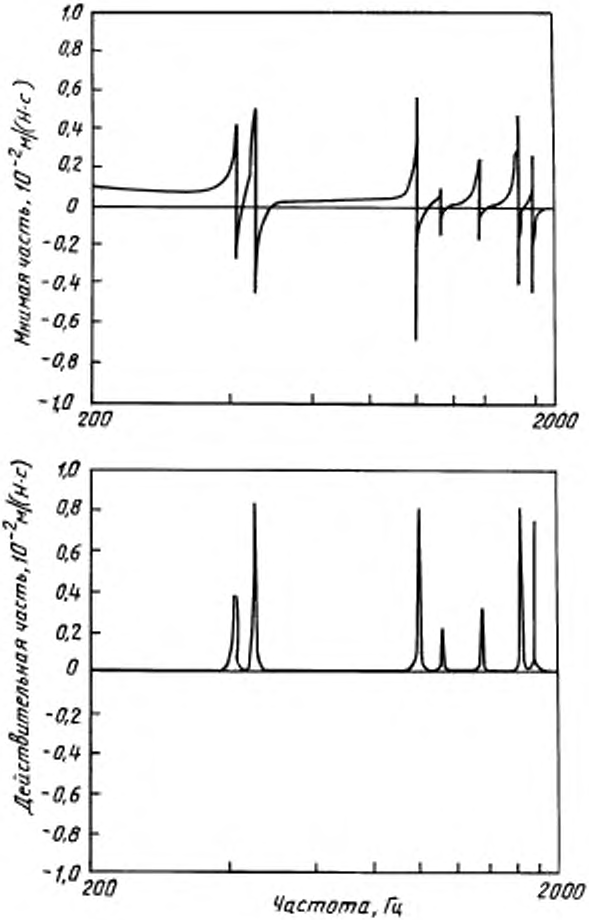
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
-0,2
-0,4
-0,6
-0,8
-1,0
200
2000
Мнимая часть, 10^{-2} м/(Н·с)
Действительная часть, 10^{-2} м/(Н·с)
Частота, Гц

Рисунок 5

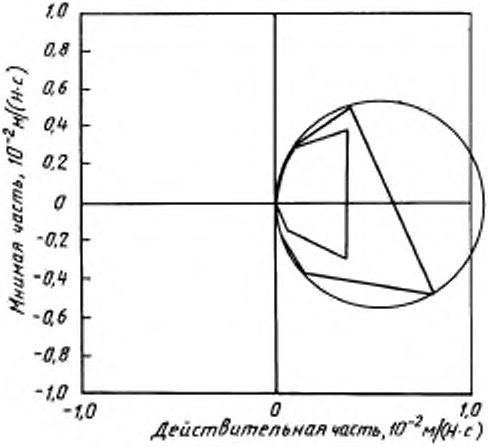

Рисунок 6

окружностей), — это важно для получения коэффициентов демпфирования мод по данным испытаний при модальном анализе конструкции.

На рисунке 6 точки, соответствующие результатам измерений, соединены прямыми линиями. Эти линии имеют вспомогательный характер. Они позволяют облегчить различение данных, соответствующих одной моде конструкции, от данных, соответствующих другой моде. То, что прямые линии, соединяющие точки на рисунке 6, далеки от формы окружности, проведенной через эти же точки, говорит о недостаточности числа точек измерения вблизи резонансной частоты для определения модальных параметров. Для более точной идентификации этих параметров следует либо увеличить число точек измерения, либо воспользоваться подходящей процедурой подгонки окружностей к имеющимся точкам измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕМПФИРОВАНИЯ И ПОДАТЛИВОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ИМПЕДАНСНОЙ ГОЛОВКИ

Полная калибровка и определение чувствительности устройства для измерения подвижности, включая устройство крепления испытуемой конструкции к вибровозбудителю, могут быть выполнены с помощью нижеследующей методики испытаний. Эта методика обеспечивает также получение данных о податливости крепления и демпфировании импедансной головки.

Для проведения испытаний следует установить большой жесткий блок на достаточно податливое основание так, чтобы собственная частота блока на податливом основании не превышала 2 Гц. Масса блока должна обеспечивать получение антирезонансной частоты в заданном диапазоне, значение массы m может быть определено по формуле

$$m = 1/[(2\pi f)^2 C], \qquad (A.1)$$

где f — установленная частота из верхней части частотного диапазона измерений подвижности, Гц;

C — оценка податливости импедансной головки и крепежного устройства, м/Н.

Чтобы определить податливость основания для калибровочного блока C_s, следует воспользоваться формулой

$$C_s = 1/[(2\pi f_s)^2 m], \qquad (A.2)$$

где f_s — собственная частота поддерживаемого массивного блока (2 Гц или ниже), Гц;

m — масса блока, кг.

Импедансная головка (или преобразователь силы) устанавливается соосно с центром тяжести калибровочного блока. Необходимо соблюдать требования изготовителя относительно момента затяжки болтов крепления преобразователя. Крепежные устройства должны быть, по возможности, идентичны тем, что будут использоваться при испытаниях конструкции для определения подвижности. Аналогично вибровозбудитель должен генерировать то же возбуждение и крепиться к импедансной головке (преобразователю силы) так же, как и при испытаниях на измерение подвижности. Верхняя граница частотного диапазона в данном виде испытаний с калибровочным блоком должна лежать выше верхней границы частотного диапазона измерений подвижности. Выходные сигналы преобразователя силы и вибропреобразователя должны обрабатываться так же, как и при испытаниях на подвижность, а результаты должны быть представлены в виде графика подвижности на соответствующей графической бумаге.

График подвижности будет иметь вид, показанный на рисунке А.1. Данный результат получен для калибровочного блока массой 5,5 кг и соответствует довольно типичной податливости крепления импедансной головки $\approx 10^{-10}$ м/Н. В диапазоне частот от 30 до 1100 Гц график подвижности близок к линии постоянной массы, соответствующей массе калибровочного блока и массе импедансной головки под преобразователем силы вместе с массой крепежных приспособлений. Если масса, определяемая по графику подвижности в низкочастотной области, не будет совпадать

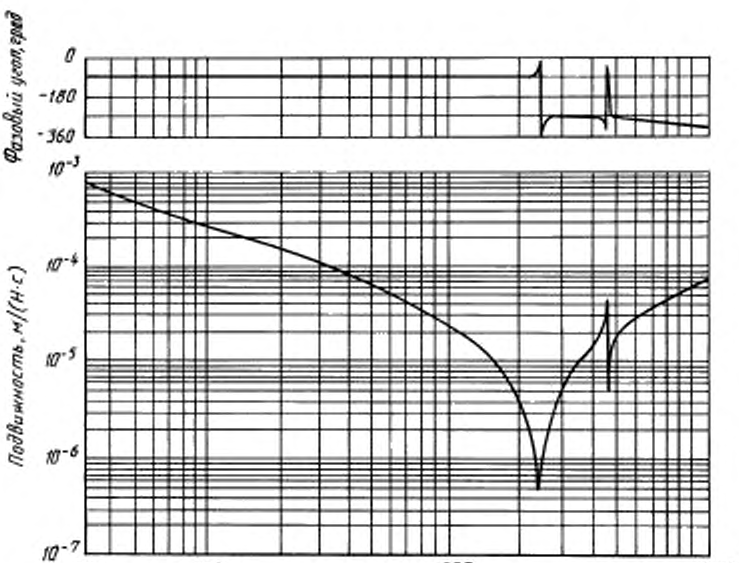

Рисунок А.1

с общей массой калибровочной системы, значит система измерения подвижности имеет погрешности, которые должны быть устранены. Возможными причинами такой погрешности могут быть недостаточная чувствительность, неправильная калибровка или неполадки в электронной части.

Антирезонанс (провал характеристики) на графике подвижности на частоте 2400 Гц свидетельствует о том, что на этой частоте подвижность калибровочного блока имеет то же значение, что и обусловленная податливостью крепления импедансной головки. Поскольку эти подвижности имеют противоположные фазы, полная подвижность стремится к нулю на антирезонансной частоте (отличие ее от нуля объясняется демпфированием в месте контакта импедансной головки и калибровочного блока). Этому соответствует также нулевое значение фазы при антирезонансе.

На частотах выше антирезонансной (2400 Гц) график подвижности асимптотически приближается к линии постоянной податливости, соответствующей комбинации податливостей крепежных устройств и собственно импедансной головки. Проверка полной податливости может вызвать затруднения, если крепление имеет значительное

демпфирование. Если антирезонансный пик не очень резкий, такого асимптотического приближения кривой к линии постоянной податливости на высоких частотах наблюдаться не будет. Нерегулярность графика в области 4600 Гц, показанная на рисунке А.1, является результатом поперечно-угловых колебаний импедансной головки относительно ее точки крепления.

Если калибровочные испытания и испытания на чувствительность продолжать до достаточно высоких частот, то вид кривой подвижности будет определяться эффективным демпфированием импедансной головки и ее крепления. Значение этого эффективного демпфирования редко может быть вычислено. Поэтому испытание, описанное в данном приложении, представляет собой единственный практический способ определения значения демпфирования в месте крепления преобразователя силы к испытуемой конструкции.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМИНОВ В РУССКОЯЗЫЧНОЙ И АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

Терминология, используемая при измерении механической подвижности и представлении результатов этих измерений, в настоящее время не является еще вполне устоявшейся как в русском, так и английском языках. В настоящем приложении рассматриваются англоязычные термины — аналоги тех, что были определены в разделе 4. Кроме того, рассмотрены некоторые случаи применения дублирующих терминов, использование которых может иногда исказить смысл и привести к непониманию.

Б.1 Ниже приводится соответствие основным терминам раздела 4 их англоязычных аналогов:

частотная характеристика — frequency response function;
подвижность — mobility;
входная (точечная) подвижность — driving point mobility;
переходная подвижность — transfer mobility;
импеданс — impedance;
ускоряемость — accelerance;
динамическая податливость — dynamic compliance.

Б.2 При измерении импеданса граничным условиям, когда все точки конструкции, кроме той, где осуществляется измерение, неподвижны (см. 4.3), соответствует англоязычный термин "blocked impedance". В русскоязычной литературе для этого случая применяется термин "импеданс холостого хода". Случаю, когда все точки конструкции, кроме точки возбуждения, свободны от внешних воздействий (см. 4.3), соответствует англоязычный термин "free impedance". В русскоязычной литературе применяется термин "импеданс короткого замыкания".

Б.3 При измерении других характеристик граничным условиям, указанным в 4.3, соответствуют следующие англоязычные термины:

для эффективной массы — "blocked effective mass" и "free effective mass" ("effective mass") соответственно;

для динамической жесткости — "dynamic stiffness" и "free dynamic stiffness" соответственно.

Б.4 В русскоязычной и англоязычной литературе встречается другое употребление терминов. Так, податливостью иногда называют величину, которая в настоящем стандарте определена как подвижность; термин "восприимчивость" ("receptance") в ряде случаев используется вместо термина "ускоряемость", а в ряде случаев — вместо термина "динамическая податливость". Ускоряемость также иногда называют инертностью ("inertance"). Во избежание терминологической путаницы рекомендуется применение терминов, принятое в настоящем стандарте.

УДК 534.1:006.354 ОКС 17.160 Т34 ОКСТУ 0011

Ключевые слова: конструкция, экспериментальное исследование, частотная характеристика, преобразователи, технические характеристики, калибровка, представление данных

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *А.С. Черноусова*
Компьютерная верстка *С.В. Рябовой*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 15.10.96. Подписано в печать 10.12.96. Усл. печ. л. 1,86. Усл. кр.-отт. л. 1,70. Тираж 257 экз. Изд. № 1910/4. С/Д 2797. Зак. 551.

_gost.e-ecolog.ru

ИПК Издательство стандартов
107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник"
Москва, Лялин пер., 6