ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70002— 2022

Вибрация

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ЗДАНИЙ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 октября 2022 г. № 1105-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Физические основы метода 3
4.1 Общие положения 3
4.2 Определение мощности, передаваемой испытательной плите 4
4.3 Определение эквивалентной входной подвижности плиты 5
4.4 Усреднение по частоте 5
4.5 Расчет характеристических величин источника 6
4.6 Представление измеренных величин 6
5 Заявляемая вибрационная характеристика оборудования 7
6 Испытания 7
6.1 Общие положения 7
6.2 Испытательная установка 7
6.3 Установка испытуемого оборудования и условия испытаний 8
6.4 Измерения и обработка результатов 9
7 Точность метода 9
7.1 Общие положения 9
7.2 Результаты сравнительных испытаний 10
8 Протокол испытаний 10
Приложение А (справочное) Примеры испытательных установок 11
Библиография 13

Введение

Согласно ГОСТ 12.1.012 изготовители машин, которые в процессе их работы не контактируют с телом человека, также указывают характеристики их вибрационной активности. Знание таких характеристик позволяет выполнить расчеты по распространению вибрации от места установки машин по конструкции здания или транспортного средства до мест нахождения людей или чувствительного оборудования, для которых воздействие вибрации может иметь негативные последствия.

В общем случае машина, имеющая N точек опоры или опорную конструкцию (например, рамную), которую можно аппроксимировать N точками, с точки зрения производимой вибрации может быть полностью описана через $6N$ составляющих скорости в точках контакта в условиях свободного подвеса или $6N$ составляющих затормаживающих сил (моментов) в этих же точках, а также через матрицу входных подвижностей размерности $6N \times 6N$. Однако для расчетов вибрации, передаваемой на приемную конструкцию, необходимо знать также матрицу входных подвижностей этой конструкции. Методы испытаний для определения характеристик вибрационной активности и динамических свойств конструкции машины требуют высокой квалификации оператора, специального испытательного оборудования и значительных затрат времени. Это ставит задачу обеспечить изготовителя машин методом описания их вибрационной активности, которые были бы просты в реализации, пусть даже за счет существенных потерь в точности.

Если для машины, рассматриваемой как источник шума, удовлетворительным является ее описание через излучаемую в окружающую среду звуковую мощность, поскольку это позволяет выполнить расчеты распространяющегося шума в заданных акустических условиях, то для машины как источника вибрации такого простого описания не существует, так как распространяемая вибрация зависит от динамических свойств приемной конструкции. Однако аналогия с акустическими измерениями позволяет установить величину, которая могла бы достаточно просто описать вибрационную активность машины — вибрационную (колебательную) мощность, передаваемую в присоединенную конструкцию.

В настоящем стандарте рассматривается упрощенный метод получения усредненных характеристик машины на основе стандартных испытаний в лабораторных условиях с использованием испытательной плиты с очень малой или, наоборот, очень большой входной подвижностью (по сравнению с подвижностью источника вибрации). Знание входной подвижности приемной конструкции позволит на основе этих характеристик выполнить ориентировочные расчеты передаваемой в конструкцию вибрационной мощности.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ ЗДАНИЙ

Mechanical vibration. Laboratory measurements of structure-borne sound from building service equipment

Дата введения — 2022—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний на определение характеристик вибрационной активности оборудования, предназначенного для установки и использования в составе инженерных систем зданий (далее — оборудования) в диапазоне частот, указанном в 4.4. Испытания оборудования проводят в заданных условиях в стационарном (установившемся) режиме его работы.

Результаты испытаний могут быть использованы в целях:

- заявления характеристики вибрационной активности оборудования согласно ГОСТ 12.1.012—2004 (раздел 5);
- сравнения разных моделей оборудования одного вида по создаваемой ими вибрации.

На основе получаемых результатов могут быть также выполнены ориентировочные расчеты вибрации, воздействующей на людей и чувствительные приборы внутри зданий, а также шума, излучаемого вибрирующими элементами конструкции здания.

Настоящий стандарт распространяется на оборудование, которое в целях испытаний может быть установлено на испытательную плиту. К такому оборудованию относятся: оборудование систем отопления, вентиляции и кондиционирования, оборудование систем водоснабжения и канализации, оборудование сетей электроснабжения, водонагреватели, насосы, воздуходувки, электродвигатели и приводное оборудование, вспомогательное оборудование и пр.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.012—2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования

ГОСТ 32107 Вибрация. Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Общие требования

ГОСТ ИСО 5348 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров

ГОСТ ISO 16063-21 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 21. Вибрационная калибровка сравнением с эталонным преобразователем

ГОСТ Р 8.650 Государственная система обеспечения единства измерений. Колебательная мощность, излучаемая машинами в присоединенные опорные конструкции. Часть 1. Методика выполнения прямых измерений

ГОСТ Р 8.653 Государственная система обеспечения единства измерений. Колебательная мощность, излучаемая машинами в присоединенные опорные конструкции. Часть 2. Методика выполнения косвенных измерений

Издание официальное

ГОСТ Р 59368.1 Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 1. Общее руководство и требования к преобразователям

ГОСТ Р 59368.5 Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 5. Измерения с использованием ударного воздействия на конструкцию неприкрепляемым возбудителем

ГОСТ Р ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 7626-2 Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 2. Измерения, использующие одноточечное поступательное возбуждение присоединенным вибровозбудителем

ГОСТ Р ИСО 10848-1 Акустика. Лабораторные измерения косвенной передачи воздушного и ударного шума между смежными помещениями. Часть 1. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 12.1.012, ГОСТ Р ИСО 2041, ГОСТ Р 59368.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **источник (вибрации):** Испытуемое оборудование или его элемент.

3.2 **приемник (вибрации):** Элемент конструкции здания, на который устанавливают (или к которому прикрепляют) испытуемое оборудование при его эксплуатации.

Примечания

1 Приемник вибрации является опорой рассматриваемого оборудования при его испытании (если оборудование устанавливают на испытательную плиту) или в условиях применения. В последнем случае приемником вибрации обычно бывают пол или стены помещения в здании. Приемником вибрации может быть также сочетание элементов конструкции здания (например, пола и стен).

2 В лабораторных испытаниях в качестве приемника выступает испытательная плита, описанная в 6.2.

3 Приемник вибрации может иметь одну или несколько точек контакта с источником.

3.3 **характеристическая скорость (источника) v_f:** Среднеквадратичное значение скорости вибрации источника в точке контакта с приемником, полученное при испытаниях оборудования в условиях свободного подвеса.

Примечание — Условие свободного подвеса и метод испытаний для определения v_f рассматриваются в ГОСТ 32107.

3.4 **характеристическая сила (источника) F_b:** Среднеквадратичное значение силы, создаваемой источником в точке контакта с приемником при условии ее номинальной неподвижности.

Примечание — Такую силу называют затормаживающей силой. Метод испытаний для определения затормаживающей силы в точке контакта рассматривается, например, в [1].

3.5 **входная (механическая) подвижность Y:** Частотно-зависимое отношение комплексной скорости вибрации к возбуждающей ее комплексной силе, приложенной в точке крепления источника к приемнику в направлении, перпендикулярном к поверхности крепления.

Примечания

1 Комплексные величины скорости и силы определяются значениями частоты, амплитуд и фаз соответствующих сигналов.

2 Входная подвижность Y также является комплексной величиной и может быть представлена в виде $Y = \mathrm{Re}(Y) + j\,\mathrm{Im}(Y)$, где $\mathrm{Re}(Y)$ и $\mathrm{Im}(Y)$ — соответственно действительная и мнимая часть Y, а j — мнимая единица, или в виде $Y = |Y|\exp[j \cdot \varphi(Y)]$, где $|Y| = \sqrt{[\mathrm{Re}(Y)]^2 + [\mathrm{Im}(Y)]^2}$ — модуль входной подвижности, а $\varphi(Y) = \mathrm{auctan}[\mathrm{Im}(Y)/\mathrm{Re}(Y)]$ — ее фазовый угол.

3 Входную подвижность источника в точке крепления обозначают Y_s, входную подвижность приемника в той же точке — Y_r.

3.6 **эквивалентная подвижность Y_{eq}:** Величина, полученная усреднением входных подвижностей по N точкам контакта по формуле

$$Y_{eq} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i. \quad (1)$$

Примечания

1 В настоящем стандарте расчеты эквивалентной подвижности выполняют только в отношении приемника.

2 Если в диапазоне частот анализа изменением фазового угла входной подвижности и/или вариациями модуля входной подвижности по точкам контакта можно пренебречь, то справедливы следующие приближенные формулы для модуля и действительной части эквивалентной подвижности соответственно:

$$\left|Y_{eq}\right| \approx \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|Y_i|, \quad (2)$$

$$\mathrm{Re}\left(Y_{eq}\right) \approx \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\mathrm{Re}(Y)_i. \quad (3)$$

3 Если точки контакта на месте установки оборудования известны, то усреднения в формулах (1)—(3) выполняют по этим точкам. Если точки контакта неизвестны, то усреднение осуществляют по площади той части испытательной плиты, что находится в контакте с оборудованием во время испытаний.

3.7 **передаваемая мощность P:** Колебательная мощность, передаваемая источником приемнику.

Примечания

1 В общем случае передаваемая мощность зависит как от вибрационной активности оборудования, так и от динамических свойств приемника.

2 Если оборудование предполагает крепление к двум или более элементам конструкции здания (например, к полу и стене), то передаваемая мощность равна алгебраической сумме мощностей, передаваемой в каждый из элементов.

4 Физические основы метода

4.1 Общие положения

Комплексная мощность вибрации W, излучаемой источником, состоит из действительной и мнимой частей, из которых первая (передаваемая мощность) поглощается конструкцией приемника, а вторая отражается обратно в источник. Соотношение поглощаемой и отражаемой мощностей зависит от динамических характеристик конструкций источника и приемника.

Приемником вибрации в здании обычно являются пол и стены, динамические характеристики которых, как правило, заранее неизвестны. Так, пол может представлять собой массивное бетонное основание или легкое панельное покрытие («плавающий пол»). Однако многочисленными исследованиями подтверждено, что независимо от типа конструкции пола и стен основная доля передаваемой мощности определяется нормальными составляющими сил и вибрации, поэтому в настоящем стандарте рассматриваются только эти составляющие.

В случае точечного контакта между источником и приемником справедливо соотношение между усредненной по времени передаваемой мощностью P и характеристической скоростью v_f, определяемое формулой (см. [2])

$$P = v_f^2 \frac{\mathrm{Re}\left(Y_r\right)}{\left|Y_s + Y_r\right|^2}, \quad (4)$$

где Y_s, Y_r — входные подвижности источника и приемника в точке контакта соответственно.

Вид формулы (4) упрощается для двух предельных случаев, когда входные подвижности источника и приемника различаются в 10 раз и более.

В случае легкой машины на тяжелом прочном основании ($|Y_s| >> |Y_r|$) справедливо соотношение

$$P \approx \frac{v_f^2}{|Y_s|^2}\mathrm{Re}(Y_r) = F_b^2\,\mathrm{Re}(Y_r). \quad (5)$$

В случае машины с жесткими опорами на легком упругом основании ($|Y_s| << |Y_r|$) применяют формулу

$$P \approx v_f^2\,\frac{\mathrm{Re}(Y_r)}{|Y_r|^2} = v_f^2\,\mathrm{Re}\left(\frac{1}{Y_r^*}\right), \quad (6)$$

где верхний индекс «*» означает комплексно сопряженную величину.

Реальное крепление оборудования к конструкции здания обычно нельзя рассматривать как точечный контакт. Оно может быть описано либо через несколько точечных контактов, либо через протяженный контакт, занимающий некоторую область приемной конструкции. Упрощенный метод описания оборудования как источника вибрации предполагает вместо совокупности характеристических скоростей, сил и матрицы комплексных подвижностей, определяемых точками контакта, использовать обобщенные (эквивалентные) значения этих характеристик, которые можно рассматривать как величины, усредненные по всей области контакта.

Связь между эквивалентными характеристиками определяется теми же формулами. Но поскольку теперь эти формулы не отражают реальные физические зависимости, знак равенства в них заменяется знаком приближенного равенства. Так, формула (4), записанная для эквивалентных характеристик, преобразуется к виду

$$P \approx v_{f,eq}^2\,\frac{\mathrm{Re}\left(Y_{r,eq}\right)}{\left|Y_{s,eq}\right|^2 + \left|Y_{r,eq}\right|^2}, \quad (7)$$

а формулы (5) и (6) соответственно к виду

$$P \approx F_{b,eq}^2\,\mathrm{Re}\left(Y_{r,eq}\right), \quad (8)$$

$$P \approx v_{f,eq}^2\,\mathrm{Re}\left(\frac{1}{Y_{r,eq}}\right). \quad (9)$$

Из формул (8) и (9) видно, что эквивалентные характеристические величины источника могут быть получены расчетным путем по известным величинам передаваемой мощности и динамическим характеристикам приемника. На этом основан метод определения эквивалентных характеристик с использованием двух испытательных плит. Одна из плит (тяжелая плита) удовлетворяет условию $|Y_{s,eq}| >> |Y_{r,eq}|$, ее эквивалентную входную подвижность обозначают $Y_{r,eq}^{(l)}$. Другая плита (легкая плита) удовлетворяет условию $|Y_{s,eq}| << |Y_{r,eq}|$, ее эквивалентную входную подвижность обозначают $Y_{r,eq}^{(h)}$.

4.2 Определение мощности, передаваемой испытательной плите

4.2.1 Общие положения

Мощность, передаваемая испытуемым оборудованием испытательной плите, может быть определена несколькими способами.

Самый точный способ состоит в непосредственном измерении согласно ГОСТ Р 8.650 или ГОСТ Р 8.653, однако он применим только для оборудования с конечным числом опор и достаточно сложен в реализации. Вследствие этого его обычно применяют на месте установки оборудования и для целей настоящего стандарта, как правило, не используют.

Два других способа, рассматриваемых в 4.2.2 и 4.2.3, основаны на измерениях среднеквадратичной скорости вибрации, создаваемой источником, усредненной по поверхности приемника (испытательной плиты).

4.2.2 Расчетный метод

Известная конструкция испытательной плиты с заданными характеристиками позволяет рассчитать передаваемую на нее вибрационную мощность P, Вт, на основе измерений скорости вибрации по поверхности плиты по формуле

$$P = 2\pi f \cdot \eta \cdot m \cdot \overline{v}^2, \quad (10)$$

где f — частота вибрации, Гц;

η — общий коэффициент потерь в плите;

m — масса плиты, кг;

$\overline{v^2}$ — квадрат скорости вибрации, создаваемой испытуемым источником, усредненный по поверхности плиты, м/с^2.

Коэффициент потерь η может быть получен по известному времени структурной реверберации плиты T_S, с, измеренного, например, согласно ГОСТ Р ИСО 10848-1, по формуле

$$\eta = \frac{2{,}2}{f T_S}. \tag{11}$$

4.2.3 Метод калибровки плиты

Метод предварительной калибровки испытательной плиты основан на непосредственных измерениях передаваемой в плиту колебательной мощности, но не испытуемым оборудованием, а возбудителем гармонической вибрации. Передаваемая при калибровке мощность P_{cal}, Вт, может быть измерена с применением, например, методов по ГОСТ Р 8.650 или ГОСТ Р 8.653. Тогда передаваемая при испытаниях мощность источника P, Вт, может быть рассчитана по формуле

$$P = P_{cal} \frac{\overline{v^2}}{\overline{v_{cal}^2}}, \tag{12}$$

где $\overline{v^2}$ и $\overline{v_{cal}^2}$ — усредненные по площади поверхности плиты квадраты скорости вибрации, создаваемые испытуемым источником и возбудителем вибрации при калибровке соответственно, (м/с)^2.

4.3 Определение эквивалентной входной подвижности плиты

Испытательная плита имеет площадь поверхности, много превышающую область контакта с источником (см. раздел 6). Теоретически желательно было бы иметь плиту бесконечной площади, для которой входная подвижность $Y_{r,inf}$, м/(с · Н), известна, представляет собой действительную величину и рассчитывается по формуле

$$Y_{r,inf} = \frac{1}{8\sqrt{Bm'}}, \tag{13}$$

где m' — удельная масса плиты, кг/м^2;

B — изгибная жесткость плиты, м^2 · кг/с^2, рассчитываемая по формуле

$$B = \frac{E}{1-\mu^2}\frac{h^3}{12}, \tag{14}$$

где E — модуль Юнга материала плиты, кг/(м · с^2);

μ — коэффициент Пуассона материала плиты;

h — толщина плиты, м.

В реальных условиях испытаний испытательная плита имеет конечные размеры, и ее входные подвижности в разных точках поверхности отличаются от теоретического значения, определяемого формулой (13), ввиду специфического распределения мод изгибных колебаний. Однако для плиты большого размера можно в достаточно хорошем приближении принять, что ее входная подвижность характеризуется одной величиной $Y_{r,\,eq}$, полученной усреднением входных подвижностей в разных точках на ее поверхности.

Входные подвижности в разных точках тяжелой и легкой плиты измеряют согласно ГОСТ Р ИСО 7626-2 или ГОСТ Р 59368.5.

После усреднения для тяжелой плиты получают значение $Y_{r,eq}^{(l)}$, для легкой — $Y_{r,eq}^{(h)}$.

4.4 Усреднение по частоте

Характеристики скорости вибрации, силы, подвижности и вибрационной мощности, рассмотренные в 4.1—4.3, являются частотно зависимыми. Для упрощения метода испытаний и заявления

характеристик вибрационной активности оборудования их усредняют по третьоктавным полосам в диапазоне частот, включающем полосы со следующими среднегеометрическими частотами, Гц: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150.

Примечание — Указанный диапазон частот характерен для вибрации большинства устанавливаемых в здании машин. Однако некоторые из них (например, насосы) способны производить значительную вибрацию на более низких частотах. В этом случае в число рассматриваемых третьоктавных полос могут быть включены также полосы со среднегеометрическими частотами 20; 25; 31,5 и 40 Гц, однако следует иметь в виду, что на низких частотах точность определения характеристик методами, установленными настоящим стандартом, может ухудшаться.

Усреднение среднеквадратичных значений скорости осуществляют с применением стандартных способов обработки, предусмотренных современными методами измерений. Измерения подвижности по ГОСТ Р ИСО 7626-2 или ГОСТ Р 59368.5 выполняют в узких полосах частот. Значения в третьоктавных полосах частот получают усреднением по всем узким полосам, составляющим соответствующую третьоктавную полосу.

Усреднение по частоте вносит дополнительную погрешность в зависимость между скоростью, подвижностью и силой. Эта погрешность будет тем меньше, чем меньше разброс значений по третьоктавной полосе для скорости и/или подвижности.

4.5 Расчет характеристических величин источника

Основой для расчета характеристических величин источника являются формулы (8) и (9), в которых все переменные рассматриваются как усредненные в соответствующих третьоктавных полосах частот, а величина $Y_{r,eq}$ приобретает значение $Y_{r,eq}^{(l)}$ или $Y_{r,eq}^{(h)}$ в зависимости от того, какая плита использовалась во время испытаний.

Для расчета эквивалентной характеристической скорости $v_{f,eq}$, эквивалентной характеристической силы $F_{b,eq}$ и эквивалентной входной подвижности $Y_{s,eq}$ используют формулы:

$$v_{f,eq}^2 = \frac{P}{\mathrm{Re}\left(\dfrac{1}{Y_{r,eq}^{(h)}}\right)}, \tag{15}$$

$$F_{b,eq}^2 = \frac{P}{\mathrm{Re}\left(Y_{r,eq}^{(l)}\right)}, \tag{16}$$

$$Y_{s,eq} = \sqrt{v_{f,eq}^2 / F_{b,eq}^2}. \tag{17}$$

4.6 Представление измеренных величин

В настоящем стандарте все величины рассматриваются как абсолютные. Однако в [3], устанавливающем схожую методику оценки характеристических величин источника, использованы относительные логарифмические величины, выраженные в децибелах. При сравнении результатов, полученных в соответствии с настоящим стандартом и стандартом [3] следует использовать опорные значения для получения логарифмических величин в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Опорные значения для логарифмических величин

Опорное значение величины			
скорости, м/с^2	силы, Н	подвижности, м/(с · Н)	мощности, Вт
$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-6}$	1	$1 \cdot 10^{-12}$

Примечание — Для среднеквадратичного значения скорости, среднеквадратичного значения силы и входной подвижности относительные логарифмические величины определяют как 20 lg(X/X_0), а для мощности — 10 lg(X/X_0), где X и X_0 — соответственно величина и ее опорное значение.

Согласно ГОСТ Р 59368.1 при представлении частотных характеристик, к которым относится и входная подвижность, используют логарифмический масштаб данных, хотя сами частотные характеристики приводят в абсолютных единицах.

5 Заявляемая вибрационная характеристика оборудования

Работающее оборудование производит вибрацию, которая через точки крепления передается на конструкцию здания. Если оборудование имеет N точек крепления к конструкции, то для его полного описания как источника передаваемой вибрации необходимо знать одну из двух характеристик вибрационной активности v_f или F_b, в каждой из точек в узких полосах частот, определенные по ГОСТ 32107 или [1] соответственно, а также входные и переходные подвижности между точками крепления, измеренные согласно ГОСТ Р ИСО 7626-2 или ГОСТ Р 59368.5 также в узких полосах частот.

Настоящий стандарт устанавливает другой, упрощенный способ заявления вибрационной характеристики оборудования — через эквивалентные характеристики, определенные формулами (15)—(17). Данный способ не учитывает фазы характеристических величин, поэтому может использоваться только для расчета энергетических характеристик передаваемой вибрации, таких как передаваемая мощность, в третьоктавных полосах частот.

По известным эквивалентным характеристическим величинам источника может быть рассчитана мощность передаваемой вибрации на конструкцию здания в третьоктавных полосах частот в условиях установки оборудования (т. е. при известном значении $Y_{r,eq}$) по формуле (7).

Заявляемые согласно настоящему стандарту характеристические величины оборудования получают в типовых условиях испытаний (см. раздел 6), что позволяет сравнивать результаты испытаний, проведенных для разного оборудования разными испытательными лабораториями.

6 Испытания

6.1 Общие положения

Согласно методу, установленному настоящим стандартом, эквивалентные характеристические величины испытуемого оборудования не измеряют непосредственно в ходе испытаний, а получают расчетным путем через измерения скорости вибрации на поверхности испытательной плиты с известными характеристиками, к которой оборудование прикрепляют во время испытаний.

Метод испытаний предполагает использование испытательных плит двух типов (см. 4.1): с малой входной подвижностью (тяжелая плита) для измерения эквивалентной характеристической силы и с большой входной подвижностью (легкая плита) для измерений эквивалентной характеристической скорости.

6.2 Испытательная установка

6.2.1 Общий вид установки

Испытания предполагают использование испытательных плит, собранных в испытательную установку. Плиты должны быть уложены на упругий материал для повышения плотности мод колебаний (что особенно важно для тяжелой плиты) и понижения уровня фоновой вибрации.

Как правило, испытуемое оборудование в условиях применения предусматривает крепление к одной плоскости (пол, стены). Однако возможна ситуация, когда оборудование предусматривает крепление к двум и даже трем взаимно перпендикулярным поверхностям. В этом случае используют установку с двумя или тремя изолированными друг от друга плитами. На рисунке 1 показан пример установки с тремя плитами.

В случае установки с двумя или тремя изолированными плитами измерения и определение эквивалентных характеристических величин источника проводят для каждой плиты по отдельности.

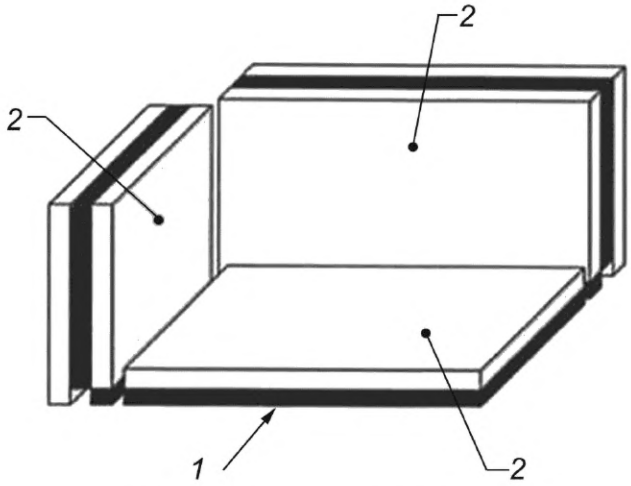
6.2.2 Параметры испытательной плиты

6.2.2.1 Общие требования

Параметры испытательной плиты определяют в ходе предварительных испытаний при подтверждении характеристик испытательной установки.

Если вибрационную мощность, передаваемую плите при испытаниях, определят расчетным методом по 4.2.2, то для каждой испытательной плиты независимо от ее типа должны быть известны следующие характеристики:

- удельная масса m, кг/м^2;
- площадь S, м^2;
- время структурной реверберации плиты T_S, с, или коэффициент потерь η [см. формулу (11)];
- входная подвижность ($Y_r^{(l)}$ для тяжелой плиты и ($Y_r^{(l)}$ для легкой плиты), м/(с · Н).



1 — упругий материал; *2* — испытательная плита

Рисунок 1 — Схематичное изображение испытательной установки

Если передаваемую мощность определяют по 4.2.3, то для каждой плиты должны быть известны результаты калибровки:

- передаваемая мощность при воздействии возбудителя вибрации P_{cal}, Вт;

- усредненный по поверхности плиты квадрат скорости вибрации $\overline{v_{cal}^2}$, измеренной согласно 6.2.3, $(м/с)^2$.

Уровень возбуждения при калибровке должен быть таким, чтобы не выйти за пределы линейности отклика.

Для каждой плиты должны быть известны эквивалентные подвижности (см. 4.3). Для тяжелой плиты ориентировочное значение эквивалентной подвижности составляет $1{,}25 \cdot 10^{-6}$ м/(с · Н), для легкой плиты — 10^{-3} м/(с · Н).

Параметры испытательных плит приведены с учетом [3]. В приложении А приведены примеры испытательных плит, представленные в [3].

6.2.2.2 Тяжелая плита

Плиту изготавливают из бетона [плотность (2300 ± 200) кг/м^3] толщиной (10 ± 1) см, минимальной площадью 5 м^2 (предпочтительно более 7 м^2) с отношением длины к ширине близким к $\sqrt{2}$ и коэффициентом потерь на низких частотах (от 50 до 100 Гц) не менее 0,08.

Минимальные размеры поверхности плиты не должны быть меньше максимального расстояния между точками крепления испытуемого оборудования.

6.2.2.3 Легкая плита

Плиту изготавливают из тонкого перфорированного листового металла, у которого среднее значение входной подвижности не менее 10^{-2} м/(с · Н). Отверстия перфорации диаметром приблизительно 6 мм должны занимать не менее 50 % площади поверхности плиты. Указанные требования могут быть обеспечены применением плиты из листа стали толщиной 1 мм или листа алюминия толщиной 1,5 мм. По краям плиту зажимают жесткой рамной конструкцией.

6.2.3 Преобразователи вибрации

Для измерений вибрации используют акселерометры, калиброванные по ГОСТ ISO 16063-21 или с применением другого аналогичного метода.

На испытательной плите отмечают точки крепления испытуемого оборудования, после чего определяют точки установки акселерометров, которые должны быть по возможности равномерно распределены по поверхности плиты и находиться не ближе 0,1 м от точек крепления оборудования. Число N акселерометров, используемых в ходе испытаний, должно быть не менее шести.

Акселерометры прикрепляют к испытательным плитам с соблюдением требований по ГОСТ ИСО 5348.

6.3 Установка испытуемого оборудования и условия испытаний

6.3.1 Установка испытуемого оборудования

Крепление оборудования к испытательной плите должно быть выполнено тем же способом, какой используют при установке данного оборудования внутри здания, в соответствии с рекомендациями изготовителя.

При установке на горизонтальной плите оборудование располагают вблизи центра плиты, но не строго в ее центре, таким образом, чтобы оно находилось под углом к границам плиты.

Конфигурация оборудования и способ его установки должны быть подробно описаны в протоколе испытаний, желательно с приложением чертежа или схемы установки.

Чтобы оценить влияние места размещения оборудования на результаты испытаний рекомендуется повторить их для нескольких способов размещения оборудования.

6.3.2 Условия испытаний

Оборудование во время испытаний должно работать в установившемся режиме таким же образом, как оно работало бы при установке в здании во время его эксплуатации. Для этого к оборудованию должны быть подведены все необходимые коммуникации (электричество, рабочие жидкости и т. п.).

Если нормальная работа оборудования предполагает использование нескольких основных режимов, то испытания проводят для каждого из них.

Если для работы оборудования необходима непрерывная подача рабочей среды, то в протоколе испытаний должно быть указано устройство подачи и его характеристики.

6.4 Измерения и обработка результатов

Во время испытаний проводят измерения вибрации в третьоктавных полосах частот, указанных в 4.4, в N точках, равномерно расположенных по поверхности плиты, как указано в 6.2.3. Продолжительность измерений должна быть достаточной для получения стабильных среднеквадратичных значений скорости v_i в каждой точке $i = 1, \ldots, N$.

По результатам измерений v_i рассчитывают усредненный по поверхности плиты квадрат скорости вибрации $\overline{v^2}$ по формуле

$$\overline{v^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^2. \qquad (18)$$

По известному значению $\overline{v^2}$ рассчитывают мощность вибрации P, переданную испытуемым оборудованием на испытательную пластину по формуле (10) или (12) в зависимости от принятого метода расчета.

На основе рассчитанного значения P вычисляют эквивалентные характеристические величины источника вибрации в третьоктавных полосах частот по формулам (15)—(17).

7 Точность метода

7.1 Общие положения

С точки зрения оценивания точности метода следует иметь в виду разную природу определяемых величин. С одной стороны, метод используется для определения и возможного заявления характеристических величин источника, с другой — для прогнозирования вибрационной мощности, передаваемой в конструкцию здания оборудованием на месте его установки.

В качестве характеристических величин настоящий стандарт устанавливает эквивалентные характеристические величины $v_{f,eq}$, $F_{b,eq}$ и $Y_{s,eq}$. Это не реальные физические величины, а параметры модели оборудования как условного источника вибрации с одной обобщенной точкой контакта. Получают данные характеристики в строго заданных условиях испытаний, и с этой точки зрения описанный в настоящем стандарте метод близок к эмпирическому. Оценки точности получения характеристических величин могут быть важны при их сравнении для разных экземпляров оборудования, однако не могут быть использованы для оценки точности прогнозирования передаваемой вибрации, поскольку уравнение связи, описываемое формулой (7), имеет приближенный характер, а степень этого приближения может сильно варьироваться в разных практических задачах.

В то же время передаваемая мощность P является физической величиной, которая может быть непосредственно измерена, например, с применением методов по ГОСТ Р 8.650 и ГОСТ Р 8.653. Исходя из конечной цели описания вибрационной активности оборудования, какой является расчет передаваемой мощности, точность метода может быть оценена по результатам сравнительных испытаний. Под сравнительными испытаниями понимаются как испытания, проведенные разными испытательными лабораториями, так и испытания, проведенные разными методами: установленным в настоящем стандарте [т. е. с использованием формулы (7)] и методом по ГОСТ Р 8.650 или ГОСТ Р 8.653.

7.2 Результаты сравнительных испытаний

В [3] приведены результаты сравнительных испытаний с участием нескольких лабораторий для нагружаемой конструкции здания с малой входной подвижностью. Измерения вибрационной мощности проводились с применением источника вибрации с контролируемой развиваемой силой и последующей нормализацией, аналогичной описанной в 4.2.3. По результатам испытаний были получены оценки стандартной повторяемости метода приблизительно 3 дБ и стандартной воспроизводимости метода приблизительно 4 дБ.

В [4] описано сопоставление результатов измерений мощности, передаваемой разным оборудованием на стандартную легкую плиту, полученных с применением формулы (7) и прямыми измерениями. В качестве оборудования рассматривались вентилятор, насос и насос на изолированных опорах. Полученные в ходе испытаний данные показывают, что в третьоктавных полосах частот, где мощность максимальна, отклонение результатов, полученных этими двумя методами, не превышает 5 дБ, в то время как в третьоктавных полосах, где мощность мала, оно может достигать 10 дБ.

Приведенные значения могут служить в качестве ориентировочных при оценке точности метода.

8 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующие сведения:

- ссылку на настоящий стандарт;
- наименование организации, проводившей испытания;
- информацию о сотруднике, проводившем испытания;
- место и дату проведения испытаний;
- наименование организации — заказчика испытаний;
- данные об испытуемом оборудовании с указанием изготовителя, модели, идентификационного номера, конфигурации;
- данные об испытательной установке (конфигурация, число и характеристики испытательных плит, точек измерений вибрации), желательно с приложением чертежа или схемы;
- сведения о предварительных испытаниях, проводившихся для получения характеристик испытательных плит согласно выбранному методу определения передаваемой мощности, 4.2.2 или 4.2.3 (дата и место, метод, руководящий документ, оборудование);
- описание способа установки и крепления испытательного оборудования (желательно с приложением чертежа или схемы), способа подвода коммуникаций и их характеристик;
- описание режима и условий работы оборудования во время испытаний;
- данные о преобразователях вибрации (их изготовитель, модель, результаты поверки или калибровки);
- результаты измерений и расчетов согласно 6.4 для каждого режима работы оборудования.

Приложение А
(справочное)

Примеры испытательных установок

А.1 Общие сведения

В настоящем приложении описаны примеры конкретных испытательных установок, приведенные в [3]. Данные установки, используемые в них конструкции и материалы следует рассматривать только как примеры реализации требований 6.2.

А.2 Установка с тяжелыми испытательными плитами

Общая схема установки показана на рисунке 1.

Установка состоит из трех упруго опертых плит (горизонтальной, большой вертикальной и малой вертикальной), представляющих собой блоки из сборного железобетона плотностью 2300 кг/м^3. Характеристики плит приведены в таблице А.1.

Таблица 1 — Массы и размеры испытательных плит

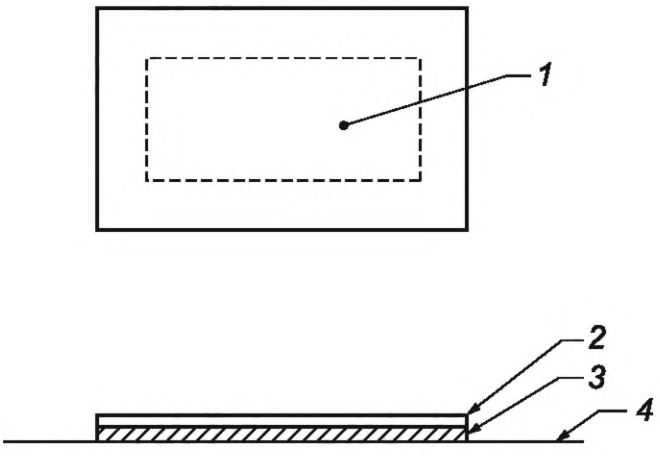
Плита	Размеры (длина, ширина, толщина), м	Масса, кг
Горизонтальная (напольная)	2,00 × 2,80 × 0,10	1288
Большая вертикальная	2,21 × 3,10 × 0,10	1575
Малая вертикальная	1,95 × 2,74 × 0,10	1228

В качестве упругого материала для изоляции (от пола лаборатории для горизонтальной плиты и от стен для вертикальной) использован вязкоэластичный полиуретан Sylomer® HD 030, изготовитель которого указал следующие характеристики:

- коэффициент механических потерь при 10 Гц и 20 °С — приблизительно 0,40;
- плотность материала, кг/м^3 — 270;
- модуль Юнга, Н/мм^2 — от 0,4 до 1,4 (в зависимости от нагрузки, частоты и температуры).

Для изоляции использованы блоки из четырех полиуретановых полос толщиной 25 мм и шириной 280 мм каждая. Общая толщина изолирующего слоя — 100 мм. Полосы изоляции располагаются по краям испытательных плит, образуя в середине пустоту (полость), которая заполняется минеральной ватой для улучшения характеристик демпфирования (см. рисунок А.1).

Площади полостей, заполненных минеральной ватой, равны 2,30 м^2 для горизонтальной плиты, 2,60 м^2 для большой вертикальной плиты и 2,25 м^2 для малой вертикальной плиты.



1 — полость, заполненная минеральной ватой; *2* — испытательная плита; *3* — упругий материал; *4* — пол лаборатории

Рисунок А.1 — Схематичное изображение горизонтальной плиты

Тот же упругий материал расположен между полом и вертикальными плитами в качестве опоры для плит.

Для фиксации конструкции каждая из вертикальных плит закреплена в шести точках на соответствующей стене лаборатории таким образом, чтобы статическая нагрузка на упругий материал была такой же, как и для материала под горизонтальной плитой.

А.3 Установка с легкой испытательной плитой

Плита представляет собой лист низкоуглеродистой стали толщиной 1,0 мм, длиной 2,0 м и шириной 1,0 м с перфорацией отверстиями диаметром не менее 5 мм, занимающими 50 % всей поверхности листа, для уменьшения воздействия акустического шума. Плита зажата по краям в рамной конструкции между стальными брусами сечением 50 мм × 20 мм, стянутыми болтовыми соединениями.

Эквивалентная входная подвижность плиты составляет около 10^{-2} м/(с · Н), плотность мод — не менее 0,9 на Гц.

Рамная конструкция с плитой установлена на стенде, позволяющем поворачивать ее в вертикальное положение для испытания оборудования, которое при нормальном применении крепят к стене здания.

Библиография

[1] ИСО 20270:2019 Акустика. Описание вибрационной активности источников. Косвенный метод измерений затормаживающих сил (Acoustics. Characterization of sources of structure-borne sound and vibration. Indirect measurement of blocked forces)

[2] Mondot, J.M., and Petersson, B.A.T., Characterisation of structure-borne sound sources: The source descriptor and coupling function, J. Sound Vib. 114 (3), 1987, p. 507—518

[3] EN 15657:2017 Акустические свойства элементов конструкций и зданий. Лабораторный метод измерений вибрации, производимой оборудованием инженерных сетей зданий, для разных условий установки (Acoustic properties of building elements and of buildings. Laboratory measurement of structure-borne sound from building service equipment for all installation conditions)

[4] Gibbs, B., Hopkins, C., Lai, K., Characterisation of sources and transmission of structure-borne sound by a reception plate method, Inter-Noise 2015, 9—12 August 2015, San Francisco, 9 p.

УДК 534.21:006.354

ОКС 17.160
91.120.20

Ключевые слова: здания, инженерные системы, оборудование, вибрация, вибрационная активность оборудования, приемная конструкция, передаваемая мощность, испытания

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 13.10.2022. Подписано в печать 01.11.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru