



ОКТАВА-ЭЛЕКТРОНДИЗАЙН

**Рекомендация по измерению общей вибрации на рабочих
местах, в помещениях жилых и общественных зданий
виброметром ОКТАВА-101ВМ/ОКТАВА-110В**

Москва
2008

Настоящие рекомендации подготовлены группой «Октава-Электрондизайн».

Октава-Электрондизайн является ведущим российским производителем современных прецизионных средств измерения звука и вибрации.

По вопросам поставки приборов следует обращаться в **ООО «Октава»** (генеральный директор В.В.Борщеговская).

По вопросам сервисного обслуживания обращайтесь в **ООО «ПКФ «Цифровые приборы»** (генеральный директор Ю.В.Куриленко).

Единые контактные телефоны группы «Октава-Электрондизайн»:

тел./факс: **(495) 225-55-01** (многоканальный), 787-26-14, 617-49-90
e-mail: info@octava.info

ВНИМАНИЕ:

Следующие предприятия не входят в группу «Октава-Электрондизайн»:

~~ООО «Компания ОКТАВА+»
ООО «ОКТАВА+МС»
ООО «ОКТАВА Измерительные приборы»
ООО «ПРИМАТЕК»~~

Группа «Октава-Электрондизайн» принимает на техническое обслуживание приборы, поставленные этими организациями до 01.09.2007.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Основные понятия вибromетрии	4
Что такое общая вибрация и как она нормируется?	5
Как провести оценку воздействия общей производственной вибрации прибором ОКТАВА-101ВМ?	6
Основные принципы измерения общей вибрации	6
Как разбивать смену на операции?	7
Что такое вибродатчик, и как им пользоваться?	7
Как настроить виброметр для измерений общей вибрации?	10
Настройка виброметра	10
Калибровка и проверка работоспособности	11
Диапазон измерения	12
Как провести измерение эквивалентного уровня виброускорения для отдельной операции?	12
Несколько замечаний о выборе времени усреднения (интегрирования эквивалентного уровня)	13
Как пересчитать виброускорение в виброскорость?	14
Что точнее: рассчитывать скорректированный уровень методом суммирования по октавам или проводить его прямое измерение корректирующими фильтрами W_d , W_k ?	14
Примеры	15
Приложение 1. Характеристики фильтров частотных коррекций прибора ОКТАВА-101ВМ/110В в режиме «Общая вибрация»	17

Введение

Последние 15-20 лет измерительная техника развивается бурными темпами. Современные приборы построены на основе микропроцессорных технологий и цифровой обработки сигнала. Это дает возможность одновременно измерять большое количество параметров, в реальном времени осуществлять частотный анализ, проводить усреднение за любой нужный интервал и т.д.

В 2008 году в Российской Федерации вводится в действия новая система стандартов в области вибробезопасности, гармонизированная с международными нормами.

Настоящие рекомендации являются проложением к руководству по эксплуатации приборов ОКТАВА-101ВМ/110В и составлены с учетом новых требований.

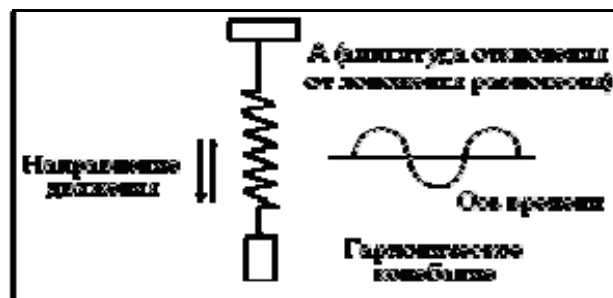
Ваши замечания можно направлять по адресу: по факсу (095) 225-55-01 или по электронной почте gkurilenko@octava.info.

Основные понятия виброметрии

Вибрацией называют механические колебания тела. Простейший пример – материальная точка, колеблющаяся на пружинке.

Реальная вибрирующая поверхность является совокупностью подобных точек.

Для характеристики колебательных движений (вибраций) используют обычные механические понятия: перемещение, скорость и ускорение. В виброметрии их называют виброперемещение, виброскорость, виброускорение.



Действующие санитарные нормы и гигиенические критерии в качестве нормируемых величин используют **виброускорение и виброскорость**.

Новые стандарты (ГОСТ 12.1.012-2004, ГОСТ 31192.1-2004) в качестве основной величины принимают только виброускорение.

Виброскорость и виброускорение измеряются и нормируются в обычных единицах СИ: м/с и м/с². Однако из-за того, что вибрация может изменяться в процессе наблюдения в сотни и тысячи раз, не всегда удобно использовать обычные линейные единицы измерений. Поэтому наряду с ними часто используют логарифмические величины: уровни виброускорения и уровни виброскорости, выраженные в децибелах.

$$\text{Уровень виброускорения: } L_a, \text{ дБ} = 20 \lg \left(\frac{a (\text{м} / \text{с}^2)}{10^{-6}} \right).$$

$$\text{Уровень виброскорости: } L_v, \text{ дБ} = 20 \lg \left(\frac{v (\text{м} / \text{с})}{5 \times 10^{-8}} \right).$$

При измерениях вибрации на рабочих местах вибрационный сигнал пропускается через специальные фильтры, которые выделяют частотные области, существенные для оценки вибрационного воздействия на человеческий организм.

Традиционно для этого используются октавные и третьоктавные фильтры, а также корректирующие фильтры.

Октавой называют полосу частот, у которой верхний предел в два раза выше нижнего.

Третьоктавой называют полосу частот, у которой отношение верхнего предела к нижнему равно $2^{1/3}$.

Среднегеометрической частотой октавного или третьоктавного фильтра f_m называют среднее геометрическое верхнего и нижнего пределов:

$$f_m = \sqrt{f_{\text{верхн}} f_{\text{нижн}}}$$

Октавные и третьоктавные фильтры, применяющиеся при измерениях вибрации, должны соответствовать стандартам ГОСТ 17168-82 и МЭК 61260.

Корректирующие фильтры, применяемые в виброметрии, являются комбинацией полосового и взвешивающего фильтров. Полосовой фильтр выделяет из вибрационного сигнала интересующую область частот, а взвешивающий фильтр накладывает дополнительное взвешивание: так что разные частоты вносят разный вклад в итоговое среднеквадратичное значение. Такая обработка называется частотной коррекцией, получаемые в итоге величины – скорректированными значениями или скорректированными уровнями.

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтров прибора ОКТАВА-101ВМ приведены в руководстве по эксплуатации (см. www.octava.info). АЧХ фильтров, которые применяются при измерении общей вибрации, даны в Приложении 1.

Что такое общая вибрация и как она нормируется?

«Общей» называют вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека¹. По-английски общая вибрация звучит как “Whole body vibration” – то есть «вибрация тела в целом», и, на наш взгляд, - это достаточно удачное определение. В соответствии с действующими санитарными нормами (СН 2.2.4/2.1.8.566-96) нормируемыми параметрами общей вибрации являются среднеквадратичные значения виброскорости (v) и виброускорения (a) в октавных и 1/3-октавных полосах частот в диапазоне 0,8 Гц – 80 Гц или их логарифмические уровни в децибелах, а также скорректированные среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни.

Предельно допустимые уровни и значения общей вибрации на рабочих местах установлены для 8-часового воздействия за смену при 40-часовой рабочей неделе.

Если рабочая смена имеет иную продолжительность ($T_{\text{смен}}$, ч), то предельно допустимые значения изменяются согласно формуле:

$$a_{\text{ПДУ}}(T_{\text{смен}}), \text{ м / с}^2 = a_{\text{ПДУ}}(8 \text{ ч}) \sqrt{\frac{8 \text{ ч}}{T_{\text{смен}}}}$$

$$L_{\text{ПДУ}}(T_{\text{смен}}), \text{ дБ} = L_{\text{ПДУ}}(8 \text{ ч}) + 10 \lg\left(\frac{8 \text{ ч}}{T_{\text{смен}}}\right)$$

По источнику возникновения различают общую транспортную вибрацию, транспортно-технологическую, технологическую и общую вибрацию в жилых и общественных зданиях (определения см. СН 2.2.4/2.1.8.566-96).

Новые стандарты в области вибробезопасности, относящиеся к общей вибрации:

ГОСТ 12.1.012-2004. Вибрационная безопасность. Общие требования

¹ Вибрация, передающаяся на ступни сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, относится к локальной.

ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования.

ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253). Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требование к проведению измерений на рабочих местах.

ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий

ГОСТ 31191.4-2006 (ИСО 2631-4). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 4. Руководство по оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсового транспортного средства

ГОСТ 31248-2004 (ИСО 10056). Вибрация. Измерение и анализ общей вибрации, воздействующей на пассажиров и бригаду железнодорожного транспорта.

Новая система стандартов в области вибробезопасности не рассматривает виброскорость в качестве нормируемого параметра.

Как провести оценку воздействия общей производственной вибрации прибором ОКТАВА-101ВМ?

Основные принципы измерения общей вибрации по ГОСТ 31191.1-2004

Измерение вибрационной экспозиции $A(8)$ на рабочем месте

Способ 1. Непрерывное измерение в течение всей рабочей смены

Шаг 1
Измерить среднеквадратичное виброускорение a_{wl} ($l=x, y, z$) за смену

Шаг 2.

Рассчитать $A_l(8)$:

$$A_l(8) = k_l a_{wl} \sqrt{\frac{T_{смены}}{T_{8ч}}} \quad (8)$$

Способ 2. Измерение по отдельным операциям

Шаг 1. Разбить смену на N операций или рабочих циклов

Шаг 2. Определить продолжительность каждой операции T_i

Шаг 3. Определить среднеквадратичное виброускорение $a_{wl,i}$ для каждой операции (несколько замеров длительностью не менее 3 мин и общей длительностью не менее 15 мин)

Шаг 4. Рассчитать среднеквадратичное виброускорение a_{wl} ($l=x, y, z$) за смену

$$a_{wl} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N a_{wl,i}^2 T_i}{T_{смены}}} \quad (9)$$

Шаг 5. Рассчитать $A_l(8)$

$$A_l(8) = k_l a_{wl} \sqrt{\frac{T_{смены}}{T_{8ч}}} \quad (10)$$

На схеме вверху представлены два способа оценки вибрационной экспозиции за смену. Термин вибрационной экспозиции $A(8)$ вводится стандартом ГОСТ 31191.1-2004:

$$A_l(8) = k_l a_{wl} \sqrt{\frac{T_{\text{смены}}}{T_{8ч}}}, \text{ где } a_{wl} - \text{среднеквадратичное значение виброускорения за всю рабочую}$$

смену в направлении l ($l=x, y, z$). При $k_l=1$ вибрационная экспозиция в точности совпадает с ранее принятым понятием «эквивалентное скорректированное значение виброускорения». Поэтому при сопоставлении результатов с действующими санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.566-96 пока следует выбирать именно такие значения коэффициентов k_l .

Как разбивать смену на операции?

Нужно отдавать себе отчет в том, что разбиение рабочего дня по операциям с целью последующей оценки вибрационного воздействия достаточно условно.

Например, самая точная оценка вибрационного воздействия получится в том случае, если проводить измерение непрерывно в течение всей смены (Способ 1). Тогда вся рабочая смена будет как бы одной большой операцией.

Но, конечно, на практике такая идеальная ситуация редко реализуется.

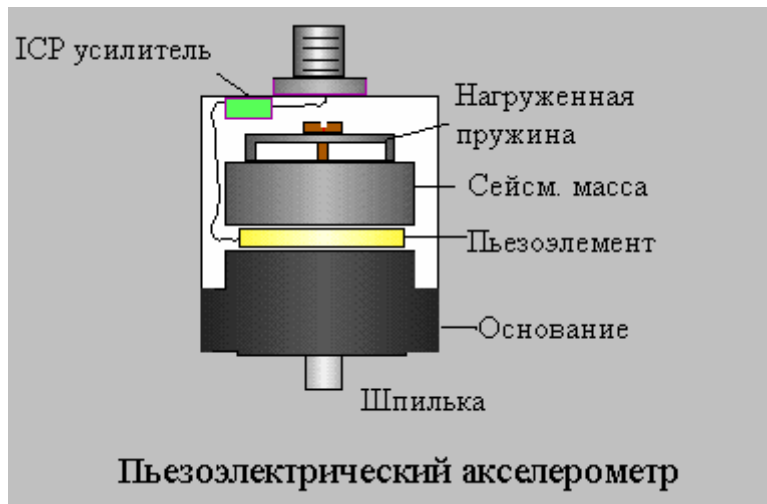
Представим себе, что работник всю рабочую смену непрерывно подвергается одному и тому же вибрационному воздействию. Оно может быть постоянным или варьироваться во времени, но его статистические параметры в течение всей смены неизменны. Пример: машинист поезда. В зависимости от скорости движения, состояния пути, наличия стрелок, торможений и т.п., вибрация, воздействующая на машиниста, изменяется во времени. Но по своей природе статистически она одна и та же в течение рабочего дня, и если мы усредним ее за несколько минут, то увидим, что это среднее значение представительно для всей смены, и нет надобности проводить измерение все 8 часов.

С другой стороны, если мы объединим в одну операцию действия с сильно отличающейся по своему характеру вибрацией, то нам потребуется более длительное время для проведения измерений (придется дольше усреднять вибрацию!).

Специфика проведения измерений для операций разного вида рассмотрена в последующих разделах.

Что такое вибродатчик, и как им пользоваться?

Типовым датчиком, применяемым для санитарно-гигиенической оценки вибрации, является пьезоакселерометр. Пьезоакселерометры могут иметь различную конструкцию. Нагляднее всего принцип их действия можно представить на примере компрессионного типа.



Сейсмическая масса крепится к основанию осевым болтом, который прижимает кольцевую пружину. Между массой и основанием вставляется пьезоэлемент. Когда на него воздействует сила, на его поверхностях появляется электрический заряд. Материалов с такими свойствами очень много, но наиболее общепринятым является кварц. Существуют также синтетические керамические пьезоматериалы, которые работают довольно хорошо, причем даже при более высоких температурах, чем позволяет кварц. Если температура пьезоэлемента повышается и достигает так называемой “температуры Курье”, то его пьезоэлектрические свойства утрачиваются. В этом случае датчик считается неисправным и не подлежит ремонту.

При перемещении акселерометра вверх или вниз, на сейсмическую массу воздействует сила со стороны чувствительного элемента. Это единственная сила, действующая на массу, поэтому она пропорциональна ускорению последней, которое совпадает с ускорением всей системы. Масса со своей стороны давит на чувствительный элемент с такой же по величине (и противоположной по направлению) силой. Так как заряд и напряжение на пьезоэлектрическом элементе прямо пропорциональны величине этой силы, в итоге мы получим на выходе электрический сигнал, пропорциональный ускорению. Пьезоакселерометры обладают чрезвычайно большой линейностью по амплитуде, поэтому у них очень большой динамический диапазон. Нижний предел ускорения, который они могут воспринимать, определяется только электрическим шумом электроники, а высшие уровни ограничены только пределом разрушения самого пьезоэлемента. Этот диапазон допустимых амплитуд может охватывать восемь порядков, или 160 дБ! Никакой другой датчик не способен на это.

При правильном обслуживании, пьезоакселерометр сохраняет стабильность в течение длительного времени. Акселерометр можно повредить двумя способами: подвергнуть его воздействию избыточной температуры или бросить его на твердую поверхность. После падения датчика на бетонный пол или на стальную палубу, его необходимо повторно проверить и убедиться, что пьезокристалл не треснул. Даже небольшая трещина приведет к снижению чувствительности и сильно повлияет на резонанс, а, следовательно, и на частотный диапазон датчика в целом. Общим правилом является ежегодная проверка акселерометров в комплекте с виброметром.

Частотный диапазон акселерометров очень широк и может простирается для некоторых моделей от очень низких частот до десятков килогерц. Высокочастотная характеристика ограничена резонансной частотой системы сейсмическая масса - пьезоэлемент. Из-за этого резонанса датчик выдаст очень сильный пик напряжения в ответ на возбуждение на его собственной частоте, которая для наиболее распространенных акселерометров составляет около 30 кГц. Согласно приблизительному правилу, акселерометр считается применимым до 1/3 его собственной частоты.

Резонансная частота акселерометра сильно зависит от способа его крепления, причем крепление на шпильке или винтом является наилучшим.

Акселерометры, используемые с виброметром ОКТАВА-101ВМ, принадлежат к типу “IEPE (ICP)”, то есть имеют встроенный микропредусилитель. Такие акселерометры имеют низкоимпедансный выход и менее подвержены помехам, а также кабельному эффекту. Их чувствительность не зависит от длины кабеля.

При креплении акселерометра на машине важно, чтобы путь от источника вибрации к датчику был непрерывным и коротким настолько, насколько это возможно (особенно при измерении вибраций подшипников качения).

Датчики AP2038, 317A41, AP2082 и AP2081 (последний встроен в полужесткий резиновый диск ОСТ2011) являются трехкомпонентными. То есть внутри них размещены три чувстви-



тельных пьезоэлемента, ориентированные во взаимноперпендикулярных направлениях. Благодаря этому трехкомпонентные датчики могут одновременно измерять вибрацию в трех направлениях.

Датчики AP98, AP2037, AP2031 являются 1-компонентными, то есть измеряют вибрацию только в одном направлении – а именно, в направлении перпендикулярном плоскости основания.

Акселерометры устанавливают таким образом, чтобы измерять вибрацию в точке контакта человеческого тела с вибрирующей поверхностью. Если в одной измерительной точке располагают несколько акселерометров для измерения вибрации в разных направлениях, эти акселерометры должны быть установлены как можно ближе друг к другу. Вибрацию измеряют на поверхности сиденья для сидящего человека и на полу для стоящего и, при необходимости, сидящего человека.



Если машина работает на наклонной поверхности, ось чувствительности акселерометра следует направлять в направлении оси тела человека, а не в вертикальном или горизонтальном направлениях.

Измерения на поверхности сиденья

Вибрацию измеряют на поверхности сиденья. В случае мягкой или упругой поверхности сиденья следует использовать датчик в полужестком диске (ОСТ-2011 или 003РД). В случае плоского жесткого сиденья можно использовать датчик 317A41, AP2038, AP2042 (AP2037, AP98), который устанавливается на жесткий диск 002ОТ.



Обычно массы оператора достаточно для фиксации диска на поверхности сиденья в целях измерения вибрации в заданном диапазоне частот. Тем не менее, для большей надежности диск может быть закреплен с помощью вспомогательных средств (например, клеящей ленты).

Измерения на поверхности опоры для ног

Вибрацию измеряют на поверхности, которая наиболее часто служит опорой для стоящего и, при необходимости, сидящего человека. Акселерометр (AP2038, 317A41, AP2042, AP98-100, AP2037-100) должен быть жестко



установлен на платформе 003ОП.

Точка измерения вибрации должна быть расположена как можно ближе к области контакта ног с опорной поверхностью (для стоящего человека – обычно в пределах окружности радиусом 100 мм, центр которой совпадает с центром области контакта, для сидящего человека – вплотную к середине ступни).

Если пол покрыт упругим материалом, акселерометр можно установить в центре жесткой металлической пластины (размером приблизительно 300х400 мм для стоящего человека и 100х400 мм для каждой ноги сидящего человека), на которую встает или опирается рабочий.

Крепление акселерометра к поверхности осуществляют разными способами, например с помощью мощного магнита (сила притяжения должна быть не менее 1 кН), клея, тонкой двусторонней клеящей ленты и т.д.

Как настроить виброметр для измерений общей вибрации?

Включение прибора осуществляется удержанием клавиши ВКЛ/ВЫКЛ в течение примерно 1 с. Чтобы выключить прибор, удерживайте эту клавишу также примерно 1 с.

После включения, на несколько секунд на индикаторе появляется надпись «SELF TESTING», а затем вы увидите окно с заставкой-логотипом.

В первой строке под заставкой вы видите выбранный в данный момент язык («Русский», «English» ...). Клавишами ↑↓ вы можете выбрать нужный.

Чуть ниже выводятся дата и время, установленные в приборе, а в последней строке – напряжение на аккумуляторной батарее.

Нажав клавишу МЕНЮ, вы перейдете в окно «ВЫБОР ПРИБОРА». В этом окне вы увидите все режимы измерения, установленные в вашем приборе: например, «Общая вибрация», «Локальная вибрация», и т.д. В трех последних строках этого окна выводятся номера версий встроенного программного обеспечения.

Клавишами ↑↓ вы выбираете нужную опцию («Общая», если вы хотите производить измерения общей вибрации), а затем нажимаете МЕНЮ, и переходите в окно «Настройка».

После включения прибора необходимо выждать примерно 20-30 с, прежде чем запускать измерения или производить калибровку. В течение этого времени происходит стабилизация внутренних цепей прибора.

Настройка виброметра

Войдите в меню настройки виброметра, нажав клавишу МЕНЮ. На дисплее появится следующее меню:

Настройка
Без прим.
1: Wd +0.0
2: Wd +0.0
3: Wk +0.0
Спектр ДА
Калибровка
USB ВЫКЛ.
OUT 100k
Контраст
Подсветка
06/01/05
04:00:52
5,0V

1-я опция меню (2-я строка) показывает примечание, сделанное к предыдущему измерению.

В следующих трех строках показано, какие фильтры частотной коррекции будут показаны в режиме измерения для каждого канала, а также калибровочные поправки для каждого канала.

В шестой строке выбирается тип представления данных (Спектр-Да, Спектр-Нет, Таблица, 3-Комп).

Следующая опция – «Калибровка» - позволяет перейти в режим калибровки.

8-я строка – активирование и деактивирование USB порта

9-я строка – настройка порта телеметрии.

В последней строке этого окна выводится напряжение аккумуляторов

Клавиши $\uparrow\downarrow$ позволяют перемещаться по меню «Настройка» вверх и вниз. Чтобы изменить значение нужной опции, необходимо сначала выделить ее (клавиши $\uparrow\downarrow$). Если опция имеет переключаемые значения (например, «Спектр НЕТ»/ «Спектр Да»/ «Таблица») и т.п.), то клавиши \Leftarrow и \Rightarrow будут последовательно циклически перелистывать доступные значения. Выбрав нужное значение, переходите к следующему пункту меню (клавиши $\uparrow\downarrow$). Опции «Примечание», «Дата», «Время» редактируются иначе (см. далее).

Настройка виброметра для измерений общей вибрации состоит из следующих шагов.

а) В меню «Выбор прибора» Выделите клавишами $\uparrow\downarrow$ опцию «Общая вибрация» и нажмите клавишу «Меню». Вы попадете в показанное выше меню «Настройка»

б) Установите для каналов 1, 2, 3 нужные типы частотной коррекции. Если вы установили датчик так, что эти каналы соответствуют направлениям X, Y, Z по СН 2.2.4/2.1.8.566-96, то нужно выбрать следующую комбинацию:

- для транспортной вибрации - X: Wd, Y: Wd, Z: Wk;
- для транспортно-технологической и технологической вибраций - X: Wk, Y: Wk, Z: Wk.
- для вибрации в жилых помещениях и помещениях общественных зданий, если типовая поза человека под воздействием вибрации не определена: Wm (для всех направлений)

Чтобы изменить коррекцию в меню «Настройка», нужно сначала выделить соответствующую строку меню, а затем выбрать нужный тип коррекции клавишей \Rightarrow .

в) Если вы желаете одновременно с корректированными уровнями виброускорения видеть спектр в 1/1- и 1/3-октавных полосах частот, то установите в 6-й строке значение «СПЕКТР ДА». В противном случае: «СПЕКТР НЕТ» или «3-КОМП» (последнее позволяет выводить на экран корректированные уровни вибрации для трех осей одновременно). Для того, чтобы получить табличный формат представления данных, установите в этой строке значение «Таблица».

ВНИМАНИЕ: Пиковые уровни виброускорения выводятся на экран только в режиме «СПЕКТР-НЕТ».

г) Для создания примечания, которое может сохраняться в памяти вместе с измерением, выделите первую опцию меню «НАСТРОЙКА» (вторая строка сверху) и перейдите в режим редактирования клавишей «ДА». Теперь в этой строке выделен только первый символ. Клавиши $\Leftarrow\Rightarrow$ перемещают курсор по строке, а клавиши $\uparrow\downarrow$ перебирают доступные символы в той позиции, на которой находится курсор. Таким образом, вы можете ввести нужный текст. После ввода подтвердите сделанные изменения клавишей «ДА». Клавиша «МЕНЮ» возвращает из режима редактирования без сохранения изменений.

Для выхода из меню «НАСТРОЙКА» нажмите клавишу МЕНЮ.

Калибровка и проверка работоспособности

В руководстве по эксплуатации виброметра ОКТАВА-101ВМ подробно изложена процедура калибровки. При наличии портативного калибратора или вибростола мы рекомендуем проверять калибровку прибора перед началом измерений и после их окончания. При отсутствии калибратора следует проверить правильность установки чувствительности датчика в приборе (см. раздел «Внутренняя калибровка» руководства по эксплуатации), а затем убедиться в работоспособности прибора.

Для этого сначала оцените уровень собственных шумов виброметра. Положите датчик, присоединенный к виброметру, на мягкую невибрирующую поверхность (вата и т.п.). Запустите измерения. Показания виброметра для корректированного уровня Wd должны быть примерно 65-70 дБ. Если уровень собственных шумов очень большой (90-100 дБ и выше), то следует обратиться к изготовителю прибора (ООО «Цифровые приборы», тел. (495) 225-55-01, info@octava.info)).

Затем постучите слегка по основанию датчика и убедитесь, что виброметр реагирует на это возбуждение.

Диапазон измерения

В отличие от предыдущих моделей, виброметр ОКТАВА-101ВМ/110В обладает очень большим динамическим диапазоном: 120 дБ. Это позволяет производить измерения практически любых видов вибрации без переключения усиления.

Если, тем не менее, ваша задача требует произвести измерение вибраций, выходящих за пределы диапазона, указанного в Руководстве по эксплуатации виброметра, необходимо использовать датчики повышенной или пониженной чувствительности (в зависимости от задачи). Подобрать оптимальный датчик можно с помощью специалистов ООО «Цифровые приборы» (тел. (495) 225-55-01, info@octava.info)

Еще несколько слов относительно максимальных измеряемых ускорений. Максимальные пределы измерений, указанные в руководстве по эксплуатации, соответствуют синусоидальным сигналам с пик-фактором $\sqrt{2}$. Для сигналов иных типов пик-фактор (отношение пикового значения к среднеквадратичному), как правило, отличен от $\sqrt{2}$. В таких случаях верхние пределы всех диапазонов смещаются на величину:

$$\Delta_k = 20 \lg \frac{\sqrt{2}}{k} (\text{дБ}), \text{ где } k\text{-пик фактор.}$$

Этим объясняется тот факт, что при сильных импульсных вибрациях перегрузка может наступать даже в тех случаях, когда среднеквадратичные значения существенно ниже верхнего предела измерений, указанного в руководстве по эксплуатации.

В подавляющем большинстве практических случаев пик-фактор неизвестен. Вы можете примерно оценить величину сдвига верхнего предела измерений среднеквадратичных уровней вибрации по формуле:

$$\Delta_k = 3 \text{ дБ} - (P_{kT} - L_{СКЗ, T})$$

Здесь P_{kT} – текущий пиковый уровень (выводится в режиме индикации СПЕКТР-НЕТ), $L_{СКЗ, T}$ – среднеквадратичный уровень, T – постоянная усреднения².

Как провести измерение эквивалентного уровня виброускорения для отдельной операции?

Мы рекомендуем фиксировать показания виброметра для эквивалентных уровней вибрации ($L_{ЭКВ}$). Текущие среднеквадратичные значения (СКЗ-10с или 5 с) удобно использовать для определения характера вибрации.

Для каждой i -й операции несколько замеров эквивалентного скорректированного уровня (не забудьте запустить измерения за 45-50 с до начала очередного цикла, и через 45 с сбросить результат клавишей СБРОС, не останавливая измерений!). Если имеется возможность не производить сброс измерений в интервалах между выборками, то можно просто постепенно накапливать эквивалентный уровень. То есть, сделав один замер, нажимаем клавишу СТОП. Затем дождаемся возобновления операции, нажимаем клавишу СТАРТ и т.д. Продолжительность отдельного замера должна быть не меньше 3 мин. Общая продолжи-

² Верхние пределы измерения пиковых уровней не зависят от пик-фактора и отличаются от величин, приведенных в руководстве по эксплуатации виброметра на +3дБ.

тельность замеров должна быть не менее 15 мин. Измерение можно завершить, если после очередного замера эквивалентный уровень изменился менее чем на 0,5 дБ.

Если описанный выше метод накопления эквивалентного уровня невозможен, то следует фиксировать эквивалентный уровень $L_{eq,k}$ и продолжительность T_k каждого замера ($T_k > 3 \text{ мин!}$), а затем рассчитать эквивалентный уровень всей операции по формуле:

$$L_{\text{эв, операции}} = 10 \lg \left(\frac{\sum_k (10^{L_{eq,k}/10} T_k)}{\sum_k T_k} \right)$$

Общая продолжительность операции в течение рабочей смены определяется с помощью хронометража или расчета (принципы определения продолжительности операции даны в ГОСТ 31191.1-2004)

Если продолжительность операции в течение смены не превышает 3 мин, то для получения достоверного результата она может быть повторена или смоделирована искусственно, так чтобы получить возможность провести замер продолжительностью не менее 3 мин.

Несколько замечаний о выборе времени усреднения (интегрирования эквивалентного уровня)

Для получения статистически достоверного результата крайне важно правильно выбрать время усреднения (интегрирования) сигнала. Выбор времени усреднения определяется, в основном, двумя факторами:

- а) временной характеристикой вибрации (медленно меняющаяся, импульсная, постоянная и т.п.)
- б) шириной полосы пропускания частотного фильтра.

Например, в случае широкополосной медленно меняющейся вибрации с нормальным статистическим распределением, измеряемой с помощью полосового фильтра, стандартное отклонение можно аппроксимировать формулой:

$$\sigma = \frac{4,34}{\sqrt{BT}} \text{ (дБ)}$$

где В = ширина полосы пропускания фильтра в герцах (Гц), а Т – время усреднения.

Это означает, что измеряемое таким образом значение будет с вероятностью 95,5% совпадать с истинным значением $\pm 2\sigma^3$.

Таким образом, если мы хотим провести измерение в октаве 1 Гц ($B=2^{-1/2}=0,7$) с погрешностью 1,0 дБ ($\sigma=0,5$), то нам потребуется время усреднение не меньше:

$$T = \frac{(4,34)^2}{B \sigma^2} = 107,6 \text{ с}$$

Если же мы хотим с такой же погрешностью провести измерения скорректированного уровня с помощью фильтра W_k (или W_d), ширина полосы пропускания которого около 100 Гц, то

³ Здесь идет речь только о случайно составляющей погрешности измерений. Существует также систематическая погрешность, которая в основном обусловлена метрологическими характеристиками вибromетра (основная погрешность и др.). В общем случае применения вибromетра ОКТАВА-101В систематическая погрешность, как правило, не превышает 1,0 дБ. Общая погрешность измерения равна

$$\sigma_{\text{общ}} = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}$$

нам потребуется время усреднения около 1 с! Если же мы будем проводить измерения такой вибрации 10 с, то погрешность, обусловленная случайными вариациями вибрации, составит примерно 0,3-0,4 дБ!

В соответствии с международными стандартами, мы рекомендуем проводить интегрирование медленно меняющейся вибрации в течение не менее 3 мин. Тогда случайной ошибкой измерения скорректированного уровня (W_k или W_d) можно вообще пренебречь, а погрешность измерения вибрации в октаве 1 Гц (самый «тяжелый» случай) не превысит 0,5 дБ с вероятностью 95,5%.

Как пересчитать виброускорение в виброскорость?

Виброметр ОКТАВА-101ВМ в комплекте с вибропреобразователем АР2038 обеспечивает прямые измерений виброускорения. Если пользователь желает определить уровни виброскорости, он может сделать это расчетным методом, воспользовавшись формулой:

$$L_v(f) = L_a(f) + 20 \lg(10/\pi f) = L_a(f) + K(f).$$

Здесь $L_v(f)$ – уровень виброскорости в дБ на частоте f , $L_a(f)$ – уровень виброускорения в дБ на частоте f , f – частота в Гц.

Ниже приведена таблица для поправочных коэффициентов $K(f)$ для октавных и третьоктавных частотных фильтров прибора ОКТАВА-101А

Частота, Гц	K(f), дБ	Частота, Гц	K(f), дБ	Частота, Гц	K(f), дБ
0.8	12.3	10	-9.8	125	-31.9
1	10.3	12.5	-11.8	160	-33.9
1.25	8.3	16	-13.8	200	-35.9
1.6	6.2	20	-15.8	250	-37.9
2	4.2	25	-17.8	315	-39.9
2.5	2.2	31.5	-19.8	400	-41.9
3.15	0.2	40	-21.8	500	-43.9
4	-1.8	50	-23.9	630	-45.9
5	-3.8	63	-25.9	800	-47.9
6.3	-5.8	80	-27.9	1000	-49.9
8	-7.8	100	-29.9	1250	-51.9

Что точнее: рассчитывать скорректированный уровень методом суммирования по октавам или проводить его прямое измерение корректирующими фильтрами W_d , W_k ?

Действующие в данный момент методические рекомендации по расчету скорректированных значений виброскорости и виброускорения составлялись 20-30 лет назад в эпоху аналоговых стрелочных приборов. Как правило, эти приборы имели октавные или 1/3-октавные фильтры, но не имели фильтров специальных вибрационных частотных коррекций. Поэтому-то старые методики предлагали сначала провести измерения вибрации в октавах, а затем получить скорректированные значения методом суммирования с учетом весовых коэффициентов.

В наше время цифровых технологий такой метод является полным анахронизмом. В чем его недостатки?

1. Октавные (и тем более, 1/3-октавные) фильтры в области низких частот имеют маленькую ширину пропусканию, и, как мы видели, в предыдущем параграфе, для получения статистически представительного измерения они требуют в несколько раз больше времени, чем широкополосные корректирующие фильтры W_k , W_d . Если не обеспечить достаточно длительной продолжительности измерения, случайные погрешности могут достигать нескольких децибел. А при суммировании по октавам эти погрешности сложатся, и ошибка оценки скорректированного значения будет еще больше.

2. Но даже очень длительное измерение не спасает в тех случаях, когда вибрационный процесс включает в себя импульсы и удары. Когда переходные процессы (такие как удары) очень коротки, октавные фильтры часто не успевают правильно обрабатывать и дают заниженные результаты (как бы сглаживают пики ударов). Поэтому скорректированный уровень, рассчитанный по октавному спектру, часто оказывается занижен даже при длительном усреднении.

3. Весовые коэффициенты, применяемые для суммирования, сами по себе округлены с точностью до 1,0 дБ, что автоматически вносит в расчет соответствующую погрешность.

4. Субъективный но существенный фактор: точные измерения в октавах с одинаковой статистической достоверностью во всем спектре требуют достаточно высокой квалификации от виброметриста. Неопытный человек легко может ошибиться как с выбором времени усреднения, так и с выбором диапазона измерения. Нередки случаи, когда измерения слабых вибраций практически на нижнем пределе диапазона измерений пробора и имеют сильные искажения. Корректирующие фильтры W_k и W_d имеют в десятки раз более широкую полосу пропускания. Поэтому, во-первых, они гораздо быстрее устанавливаются и показывают правильные значения, а во-вторых, они охватывают значительно больше энергии вибрационного сигнала, и поэтому значительно меньше подвержены искажениям, в тех случаях, когда установлено слишком слабое усиление сигнала.

Суммируя все вышесказанное, мы настоятельно рекомендуем использовать для определения скорректированных значений исключительно корректирующие фильтры W_k и W_d .

Примеры

Измеряется вибрация на рабочем месте водителя междугороднего рейсового автобуса. Полная рабочая смена составляет 6 часов и включает в себя перерывы, остановки на огни светофора и т.п.⁴

а) Если вибрацию на сиденье под водителем измеряют в течение всей 6-часовой рабочей смены и в результате получают эквивалентный скорректированный уровень $L_{экр, 6 ч}$, то эквивалентный уровень, приведенный к 8-часовому воздействию (то есть то, что нужно сравнивать с санитарными нормами), рассчитывают по формуле:

$$L_{экр, 8 ч} = L_{экр, 6 ч} + 10 \lg \left(\frac{6 ч}{8 ч} \right).$$

б) Второй способ: выделяют в рабочем процессе водителя несколько состояний, в течение которых характеристики вибрации остаются практически неизменными (например, во время движения с рейсовой скоростью по шоссе, во время движения с низкой скоростью по городу). Для каждого состояния i проводят измерения эквивалентного уровня в течение не менее 3 мин ($L_{экр, i}$), а также определяют общую продолжительность этого состояния в течение рабочей смены T_i .

Затем рассчитывают эквивалентный уровень за 8 часов по формуле:

$$L_{экр, 8 ч} = 10 \lg \left(\frac{1}{8 ч} \sum_i T_i 10^{L_{экр, i} / 10} \right)$$

⁴ Пример взят из стандарта EN 14253:2003

Как провести оценку влияния общей вибрации на комфорт в жилом помещении или в помещении общественного здания ?

Общие принципы

Оценку воздействия вибрации на степень комфорта обитателей зданий проводят путем определения максимальных среднеквадратичных значений виброускорения. Это отличает данный тип измерений от оценки общей вибрации на рабочих местах, которая исходит из вибрационной экспозиции за рабочую смену.

Вибрацию внутри помещений предписывается измерять в тех местах, где ее скорректированное значение максимально или в специально определенных для целей обследования местах. Измерения проводят в трех взаимно перпендикулярных направлениях, которые совпадают с направлениями осей x , y , z для стоящего человека по ГОСТ 31191.1-2004.

Если типичная поза человека при воздействии вибрации внутри помещения не определена, то для всех направлений применяют частотную коррекцию W_m . Если поза определена, то используют основные частотные коррекции (W_k , W_d и пр.) по ГОСТ 31191.1-2004.

Оценку вибрации следует осуществлять по результатам замеров виброускорения в том направлении, где оно максимально.

Стандарт предлагает классифицировать вибрацию в здании по видам источников:

- вибрация от источников постоянного действия (пример – промышленный объект)
- вибрация от источников регулярно повторяющегося воздействия (например, время от времени проезжающие транспортные средства)
- вибрация от источников непостоянного воздействия.

Основные требования к проведению измерений совпадают с ГОСТ 31191.1-2004.

- Слабо меняющиеся вибрации оцениваются по среднеквадратичному значению виброускорения⁵ a_w ;

- Сильно изменяющиеся вибрации оцениваются по параметру $MTVV$ ⁶, если $\frac{MTVV}{a_w} > 1,5$

Проведение замера

Число измерений и их длительность выбирают таким образом, чтобы обеспечить получение скорректированной вибрации, представительной для всего процесса.

Если вибрация слабо изменяется ($L_{СКЗ-1с, max} - L_{экв} < 3,5$ дБ) проведите несколько замеров эквивалентного уровня виброускорения (продолжительность одного замера не менее 3 мин, общее число замеров – не менее 5) и выберите максимальный.

Для переходных процессов, где $L_{СКЗ-1с, max} - L_{экв} > 3,5$ дБ (например, вибрация от проезжающего транспорта) проводите замеры скорректированных среднеквадратичных скорректированных уровней СКЗ-1с. Каждый замер должен охватывать весь цикл действия вибрации. Результатом отдельного замера является максимальное значение скорректированного уровня СКЗ-1с. Результатом измерения в данной точке является максимальный результат по всем замерам в данной точке.

⁵ В приборах ОКТАВА-101В, 101ВМ и 110А (опция 110_ОБ) этой величине соответствует эквивалентный уровень виброускорения $L_{экв}$

⁶ В приборах ОКТАВА-101В, 101ВМ и 110А (опция 110_ОБ) этой величине соответствует уровень СКЗ-1с-МАКС)

Приложение 1. Характеристики фильтров частотных коррекций прибора ОКТАВА-101ВМ/110В в режиме «Общая вибрация»

Затухание фильтров Wb, Wc, Wd, We, Wj, Wk, Wm, Fk, Fm (режим "ОБЩАЯ ВИБРАЦИЯ")

Частота, Гц	Затухание, дБ									Допуск, дБ
	Wb	Wc	Wd	We	Wj	Wk	Wm	Fk	Fm	
0.5	-9.51	-1.47	-1.37	-1.27	-7.58	-7.56	-8.67	-1.48	-8.64	±2
0.63	-8.72	-0.64	-0.50	-0.55	-6.77	-6.77	-5.51	-0.65	-5.46	±1
0.8	-8.39	-0.25	-0.08	-0.52	-6.42	-6.44	-3.09	-0.27	-3.01	±1
1	-8.29	-0.08	0.10	-1.11	-6.30	-6.33	-1.59	-0.11	-1.46	±1
1.25	-8.26	0.00	0.06	-2.29	-6.28	-6.29	-0.85	-0.04	-0.64	±1
1.6	-8.14	0.06	-0.26	-3.91	-6.32	-6.13	-0.59	-0.02	-0.27	±1
2	-7.60	0.1	-1.00	-5.8	-6.34	-5.50	-0.61	-0.01	-0.11	±1
2.5	-6.09	0.15	-2.23	-7.81	-6.22	-3.97	-0.82	0.00	-0.04	±1
3.15	-3.54	0.19	-3.88	-9.85	-5.60	-1.86	-1.19	0.00	-0.02	±1
4	-1.06	0.21	-5.78	-11.89	-4.08	-0.31	-1.74	0.00	-0.01	±1
5	0.22	0.11	-7.78	-13.93	-1.99	0.33	-2.50	0.00	0.00	±1
6.3	0.46	-0.23	-9.83	-15.95	-0.47	0.46	-3.49	0.00	0.00	±1
8	0.23	-0.97	-11.87	-17.97	0.14	0.32	-4.70	0.00	0.00	±0.1
10	-0.22	-2.2	-13.91	-19.98	0.26	-0.10	-6.12	0.00	0.00	±1
12.5	-0.87	-3.84	-15.93	-21.99	0.22	-0.93	-7.71	0.00	0.00	±1
16	-1.78	-5.74	-17.95	-23.99	0.16	-2.22	-9.44	0.00	0.00	±1
20	-2.99	-7.75	-19.97	-26.00	0.10	-3.91	-11.25	-0.01	-0.01	±1
25	-4.48	-9.8	-21.98	-28.01	0.06	-5.84	-13.14	-0.02	-0.02	±1
31.5	-6.18	-11.87	-24.01	-30.04	0.00	-7.89	-15.09	-0.04	-0.04	±1
40	-8.07	-13.97	-26.08	-32.11	-0.08	-10.01	-17.10	-0.11	-0.11	±1
50	-10.12	-16.15	-28.24	-34.26	-0.25	-12.21	-19.23	-0.27	-0.27	±1
63	-12.44	-18.55	-30.62	-36.64	-0.63	-14.62	-21.58	-0.64	-0.64	±1
80	-15.22	-21.37	-33.43	-39.46	-1.45	-17.47	-24.38	-1.46	-1.46	±1
100	-18.75	-24.94	-36.99	-43.01	-3.01	-21.04	-27.93	-3.01	-3.01	±1
125	-23.19	-29.39	-41.43	-47.46	-5.45	-25.50	-32.37	-5.46	-5.46	±1
160	-28.36	-34.57	-46.62	-52.64	-8.64	-30.69	-37.55	-8.64	-8.64	±1