



ОКТАВА-ЭЛЕКТРОНДИЗАЙН

**Рекомендация по измерению локальной вибрации
виброметром ОКТАВА-101ВМ/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 виброметрии	4
Что такое локальная вибрация и как она нормируется?	5
Как провести оценку воздействия локальной вибрации прибором ОКТАВА-101ВМ?	6
Основные принципы измерения локальной вибрации	6
Как разбивать смену на операции?	6
Что такое вибродатчик, и как им пользоваться?	7
Как настроить виброметр для измерений локальной вибрации?	12
Калибровка и проверка работоспособности	14
Диапазон измерения	14
Как провести измерение эквивалентного уровня виброускорения для отдельной операции?	15
Как пересчитать виброускорение в виброскорость?	18
Что точнее: рассчитывать скорректированный уровень методом суммирования по октавам или проводить его прямое измерение корректирующими фильтром Wh?	19

Введение

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.

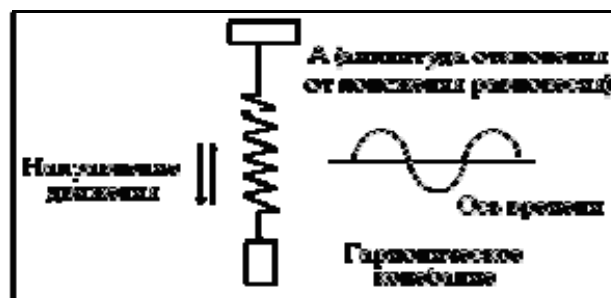
Ваши замечания можно направлять по адресу: по факсу (495) 225-55-01 или по электронной почте gkurilenko@octava.info.

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**.

Международные стандарты ИСО, а также вступающие в действие в 2008 году новые российские стандарты в области вибробезопасности 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.

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

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

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 Fh и Wh, которые применяются при измерении локальной вибрации, даны в Приложении 1.

Что такое локальная вибрация и как она нормируется?

«Локальной» называют вибрацию, передающуюся через руки человека¹. По-английски общая вибрация звучит как “Hand-Arm” – то есть «вибрация кисти руки», и, на наш взгляд, – это достаточно удачное определение.

В процессе работы с ручными машинами, на машинах с ручным управлением или при обработке на станках вручную удерживаемых деталей на кисть и плечо оператора может передаваться значительная вибрация. Эта вибрация может воздействовать как на одну руку, так и на обе руки сразу, являясь источником дискомфорта и снижая производительность труда. Регулярное длительное воздействие локальной вибрации может быть причиной заболеваний, затрагивающих разные органы человека: кровеносные сосуды, нервную систему, кости, суставы, мышцы, соединительную ткань кисти и предплечья

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 полосах частот в диапазоне 8 Гц – 1000 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 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:

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

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

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

Новые стандарты, вступающие в силу в 2008 году:

- ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1) - Вибрация — Измерения и оценка воздействия на человека локальной вибрации — Часть 1: Общие требования.
- ГОСТ 31192.2-2005 (ИСО 5349-2) - Измерения и оценка воздействия на человека локальной вибрации. Часть 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах

Как провести оценку воздействия локальной вибрации прибором ОКТАВА-101ВМ?

Основные принципы

В санитарных нормах и гигиенических критериях предельно допустимые значения вибрации установлены для 8-часового воздействия. Поэтому для санитарно-гигиенической оценки производственной вибрации необходимо выполнить следующие шаги:

Шаг 1. Выделить отдельные операции, из которых складывается смена для обследуемого рабочего места.

Шаг 2. Выбрать те операции, во время которых испытуемый подвергается вибрационному воздействию.

Шаг 3. Провести измерение эквивалентного скорректированного уровня вибрации (если нужно, то также эквивалентных уровней вибрации в октавных полосах частот 8 Гц – 1000 Гц²) для каждой операции $L_{\text{экв},i}$ (i – номер операции).

Шаг 4. Оценить типичную продолжительность T_i каждой операции (хронометраж или расчет) в течение рабочей смены.

Шаг 5. Рассчитать эквивалентный уровень виброускорения для 8-часового воздействия:

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

Как разбивать смену на операции³?

Для получения оценки вибрационной экспозиции за смену вначале устанавливают, при выполнении каких операций в течение рабочего дня вибрация, воздействующая на оператора, будет значительной. После этого для каждой такой операции определяют один из четы-

² В виброметре ОКТАВА-101ВМ измерения октавных, 1/3-октавных и скорректированных уровней производится одновременно

³ Этот раздел использует информацию ГОСТ 31192.2

рех возможных способов измерения вибрации:

- Продолжительные измерения в процессе непрерывного выполнения операции;
- Продолжительные измерения в процессе выполнения операции с перерывами
- Кратковременные измерения в процессе выполнения операции с перерывами
- Измерения в течение фиксированного периода времени всплесков вибрации, одиночных или множественных ударов в процессе выполнения операции

Выбранный способ будет зависеть от особенностей рабочего места оператора, распорядка рабочего дня и вида источника вибрации

Важно, чтобы измерения были проведены для всех ручных машин (объектов обработки), вибрация которых определяет существенную составляющую вибрационной экспозиции за смену. Для получения полной картины типичного (среднего) воздействия вибрации в течение рабочего дня необходимо идентифицировать

а) все источники вибрационного воздействия (т.е. используемые машины и инструмент);

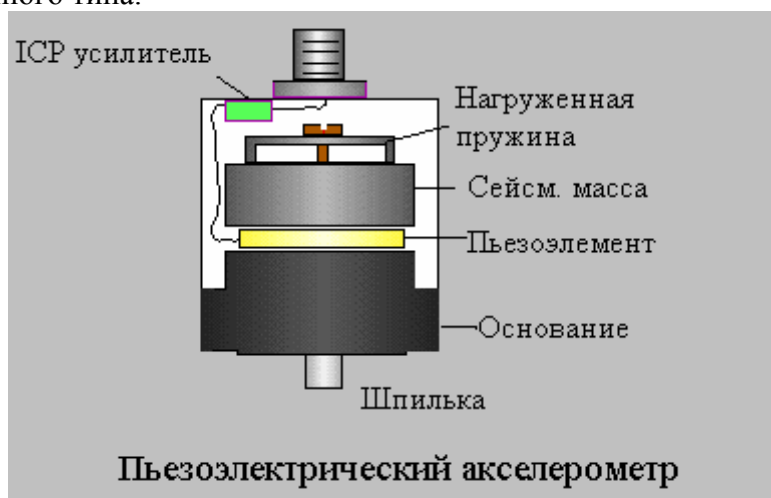
б) все операции, проводимые с ручной машиной (например, цепная пила может находиться в неработающем состоянии, работать под полной нагрузкой при распиловке ствола дерева и под малой нагрузкой при распиловке боковых ветвей, сверлильный инструмент может работать в ударном и безударном режимах и, кроме того, на разных скоростях вращения);

в) все изменения условий работы, которые могут оказать влияние на уровень воздействующей вибрации (например, бетономол может сначала быть использован для разрушения твердого бетонного покрытия, а затем более мягкого грунтового слоя; шлифовальная машина может сначала быть использоваться с абразивной шкуркой, а затем с борфрезой).

г) все вставные инструменты, которые могут влиять на уровень воздействующей вибрации (например, шлифовальный станок может быть использован с набором наждачных бумаг разной степени зернистости – от грубой до чистовой обработки; каменщик может применять пневматическое зубило в широком набором различных зубил).

Что такое вибродатчик, и как им пользоваться?

Стандартным 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 синтети-

ческие 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, совпадающему 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 поверить 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 поверка 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 IЕРЕ (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.

Для измерений локальной вибрации в производственных условиях мы рекомендуем использовать акселерометр чувствительностью 10 мВ/г (например, AP2038 или аналогичный) или 100 мВ/г (317A41 или аналогичный). Для измерений очень сильных вибраций, а также в тех случаях, когда необходимо использовать датчик минимальной массы, рекомендуем использовать 1-компонентный акселерометр AP2031.

Датчики AP2038, AP2082 и 317A41 является трехкомпонентными. То есть внутри них размещены три чувствительных пьезоэлемента, ориентированных во взаимноперпендикулярных направлениях. Благодаря этому трехкомпонентные датчики могут одновременно измерять вибрацию в трех направлениях.

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

Согласно ГОСТ 31192.1 измерения вибрации следует проводить в непосредственной близости от того места на ладони (ладонях), которое соприкасается с вибрирующей поверх-

ностью. Рекомендуется устанавливать акселерометр в центре зоны обхвата, если это не мешает нормальному обхвату ручной машины (органа управления, обрабатываемой детали) рукой оператора.

Проведение измерений непосредственно под ладонью обычно возможно только при использовании специального адаптера. Примеры таких адаптеров приведены ниже.

Следует помнить, что универсального адаптера на все случаи жизни не существует, а приведенные ниже примеры являются лишь рекомендациями.

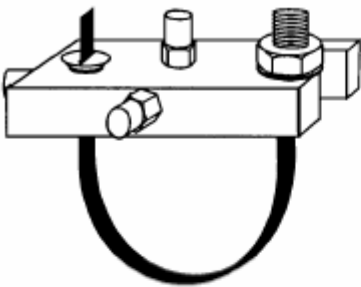
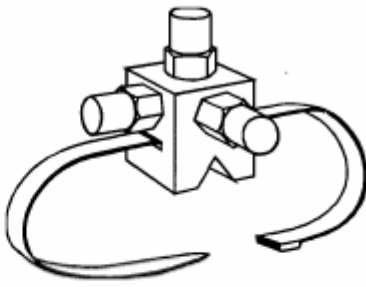
Группа «Октава-ЭлектронДизайн» производит и предлагает к виброметру ОКТАВА-101BM/110В следующие адаптеры локальной вибрации:

- 002КР – адаптер-рожок кисти руки



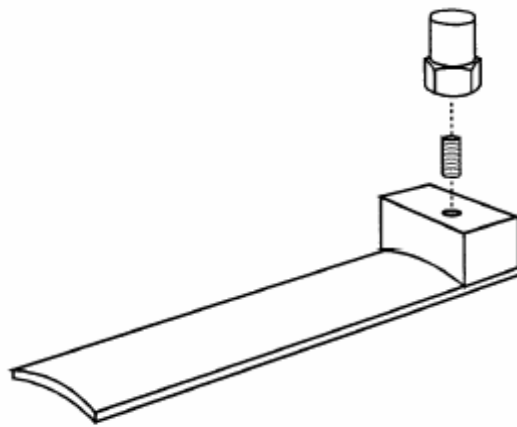
Исторически адаптер 002КР является наиболее распространенным, так как он был приведен в ГОСТ 12.1.012-90. Однако в современных стандартах по вибробезопасности упоминание о подобных адаптерах отсутствуют.

- AP5022 – кубический адаптер для фиксированной установки (см. рисунок внизу)

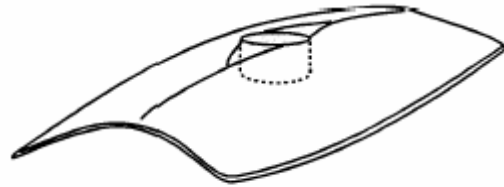
	
а) Металлический U-образный зажим (с помощью металлического хомута)	б) Зажим с помощью нейлоновой ленты или металлического хомута

Способ крепления	Достоинства	Недостатки
Металлический U-образный зажим	Пригоден для измерения трехкомпонентной вибрации	Громоздкий и тяжелый
Нейлоновый (металлический) хомут	Быстрое крепление Пригоден для измерения трехкомпонентной вибрации Легкий Без острых краев	В основном используется для измерений на рукоятках

002КР - адаптер рукоятки (простой формы) – см. рис. внизу.



а) Адаптер простой формы



б) Адаптер специальной формы

Форма адаптера	Достоинства	Недостатки
Адаптер простой формы	Применим, когда фиксированное крепление невозможно, например на мягких или упругих материалах	Пригоден только при фиксированном положении ладони, которая постоянно должна обхватывать рукоятку Частотная характеристика зависит от материала поверхности Наличие адаптера может изменить выполнение операции ручной машины и сказаться на результате измерений Для измерений поперечной вибрации требуется дополнительная фиксация (например, с помощью клея)
Адаптер специальной формы	Применим, когда фиксированное крепление невозможно, например на мягких или упругих материалах Оказывает незначительное влияние на работу ручной машины Достаточно хорошая частотная характеристика	Изготовление адаптера - трудоемкая процедура, требующая больших затрат времени Трудно применять при измерениях трехкомпонентной вибрации

Адаптер следует крепить под ладонью или между пальцами. Если адаптер зажимают между пальцами руки, акселерометр должен находиться как можно ближе к поверхности рукоятки ручной машины, чтобы свести к минимуму усиление угловой составляющей вибрации. Адаптер не должен иметь собственных резонансов, способных оказать влияние на результат измерений вибрации.

Результаты измерений в разных точках вибрирующей поверхности на расстоянии меньшем, чем ширина ладони, могут существенно отличаться друг от друга. В частности, это характерно для ручных машин с боковыми рукоятками (часто встречающимися, например, у угловых шлифовальных машин), особенно когда жесткость их крепления к корпусу ручной машины мала. В этих случаях рекомендуется устанавливать акселерометр в двух точках - по обеим сторонам ладони, чтобы потом для получения оценки вибрационного воздействия усреднить результаты двух измерений.

Акселерометр на вибрирующую поверхность следует устанавливать жестко.

Более подробные сведения о некоторых способах крепления даны в приложении D стандарта ГОСТ 31192.2.

Из возможных способов крепления следует выбирать тот, который обеспечивает надежную фиксацию акселерометра на вибрирующей поверхности, не мешает работе ручной машины и не оказывает влияния на измеряемую вибрацию. Каждый способ крепления имеет свои достоинства и недостатки, поэтому его выбирают в зависимости от конкретной ситуации.

Система крепления не должна ухудшать линейность частотной характеристики изме-

рительного тракта, т.е. она не должна ослаблять или усиливать отдельные составляющие вибрации и не должна вносить резонансы по всему диапазону частот измерений. Надежность фиксации датчиков следует тщательно проверять как до, так и после проведения измерений.

Акселерометр, установленный на ручную машину или на обрабатываемую деталь, в той или иной степени будет мешать оператору выполнять его работу. Поэтому крепление следует выполнять таким образом, чтобы неудобства, причиняемые оператору, были минимальны. Для этого рекомендуется перед измерениями провести наблюдения за тем, как именно оператор держит ручную машину или обрабатываемую деталь, чтобы выбрать наиболее подходящие точки установки и направления ориентации акселерометров. Эти точки и направления измерения должны быть зафиксированы.

Очень важно, чтобы установка акселерометра не привела к ухудшению контроля со стороны оператора за работой ручной машины и нарушениям условий безопасности его работы. Нередко наилучшее место для измерений совпадает с положением выключателя ручной машины. Следует убедиться, что датчики вибрации, системы их крепления и соединительные кабели не препятствуют управлению ручной машиной в процессе ее работы.

Крепление на поверхность с упругим покрытием

Если рукоятки ручной машины покрыты мягким материалом, вибропередаточные свойства этого покрытия будут зависеть от силы, действующей на него со стороны системы крепления датчика вибрации (далее – датчик). Поэтому необходимо убедиться, что результаты измерения вибрации не будут зависеть от упругих свойств материала. Если известно, что материал покрытия не вызывает ослабления воздействия вибрации, то при установке датчика:

- следует удалить часть покрытия в той области, где должен быть установлен датчик, или
- закрепить датчик таким образом, чтобы упругий материал был полностью сжат под действием силы со стороны крепления.

Обычно такие действия оправданы, поскольку упругие покрытия на рукоятках ручных машин, как правило, предназначены не для снижения вибрации, а только для улучшения условий контакта руки с рукояткой⁴.

Если же упругое покрытие в той или иной степени ослабляет воздействие вибрации (например, толщина покрытия достаточно велика), тогда датчик следует устанавливать с помощью адаптера, который удерживают на вибрирующей поверхности рукой оператора. Для сохранения неизменного положения адаптера в процессе измерений рекомендуется фиксировать его с помощью изоляционной ленты, намотанной без натяжения вокруг адаптера и рукоятки ручной машины. Данный способ крепления более сложен, но он обеспечивает получение более точных измерений реально действующей вибрации.

⁴ Известно, что в некоторых случаях плохо подобранное покрытие способно даже усиливать передаваемую вибрацию на определенных частотах

Крепление к рукояткам или зонам обхвата, изготовленным из легких упругих материалов

Если рукоятки или зоны обхвата ручной машины изготовлены из легких упругих материалов (пример - пластиковые боковые рукоятки шлифовальных машин некоторых моделей), установка на них датчиков может быть осуществлена с помощью клея.

Установка акселерометра на вибрирующую поверхность влияет на характер вибрации. Чем больше присоединенная масса датчика, тем более существенны изменения. Если общая масса акселерометра (акселерометров) и системы крепления составляет менее 5 % массы объекта (рукоятки ручной машины или обрабатываемой детали), к которому он прикреплен, данный эффект можно не принимать во внимание.

При наличии сомнений в том, оказывает ли масса датчика влияние на вибрацию, следует провести такую проверку:

- прикрепить акселерометр (акселерометры) к рукоятке ручной машины (к обрабатываемой детали) и провести измерение вибрации;
- установить на ручную машину (обрабатываемую деталь) вблизи акселерометра дополнительную массу, близкую к массе акселерометра, и повторить измерения;
- если полученную разницу в результатах измерений нельзя отнести только к статистическим погрешностям, для проведения измерений необходимо выбрать акселерометр (систему крепления) меньшей массы.

Как настроить виброметр для измерений локальной вибрации?

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

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 $\uparrow\downarrow$ 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 $\uparrow\downarrow$ вы выбираете нужную опцию («Локальная», если вы хотите производить измерения локальной 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: Wh | +0.0
2: Wh | +0.0
3: Wh | +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 локальной вибрации состоит из следующих шагов.

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

б) Установите для каналов 1, 2, 3 нужные типы частотной коррекции. Для измерений локальной вибрации нужно выбрать W_h .

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 скорректированными 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 скорректированные 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 скорректированного уровня W_h должны быть примерно 75-80 дБ⁵. Если уровень собственных шумов очень большой (90-100 дБ и выше), то следует обратиться к изготовителю прибора (ОКТАВА-Электрондизайн, тел. (495) 225-55-01).

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 группы «Октава-Электрондизайн» (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 може-

⁵ Это справедливо для датчиков AP2038, AP2038P.

те примерно оценить величину сдвига верхнего предела измерений среднеквадратичных уровней вибрации по формуле:

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

Здесь P_{kT} – текущий пиковый уровень (выводится в режиме индикации СПЕКТР-НЕТ), $L_{СКЗ,T}$ – среднеквадратичный уровень, T – постоянная усреднения⁶.

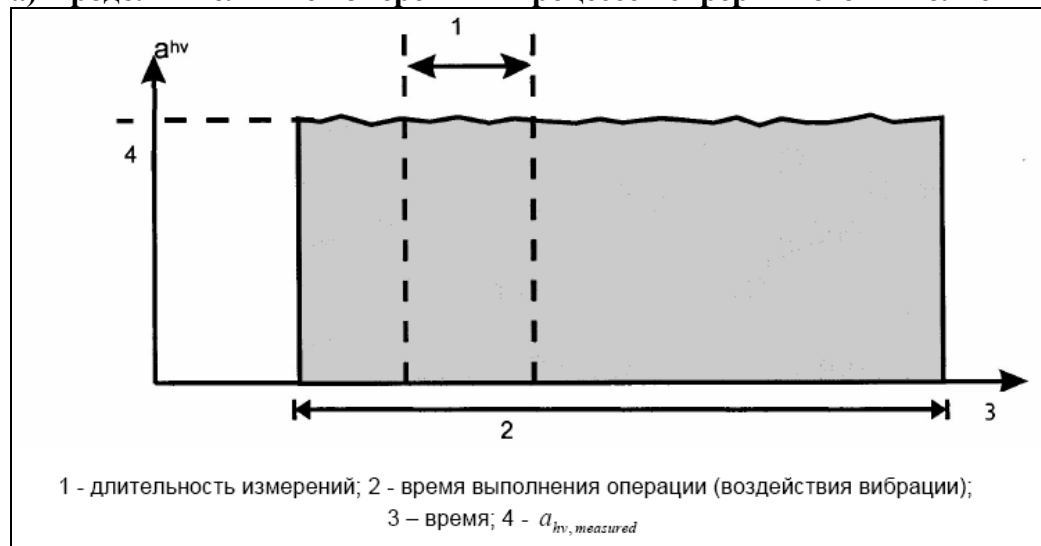
Как провести измерение эквивалентного уровня виброускорения для отдельной операции⁷?

Число измерений и их длительность выбирают таким образом, чтобы обеспечить получение скорректированной вибрации, представительной для всей рабочей операции.

Мы рекомендуем фиксировать показания виброметра для эквивалентных уровней вибрации. ($L_{\text{экв}}$). Текущие среднеквадратичные значения (лучше всего СКЗ-1с) удобно использовать для определения характера вибрации.

Процедура измерения зависит от характера операции.

а) Продолжительные измерения в процессе непрерывного выполнения операции



Если рабочая операция не прерывается длительный период времени, в течение которого оператор сохраняет контакт с вибрирующей поверхностью, то измерения вибрации могут быть проведены в течение всего этого периода. Допускается, чтобы данная операция сопровождалась изменениями уровня вибрации при условии, что эти изменения являются для нее характерными.

⁶ Верхние пределы измерения пиковых уровней не зависят от пик-фактора и отличаются от величин, приведенных в руководстве по эксплуатации виброметра на +3дБ.

⁷ В этом разделе используются материалы ГОСТ 31192.2.

Для оценки вибрационного воздействия за смену помимо информации об уровне вибрации необходима также оценка длительности воздействия вибрации в течение рабочего дня.

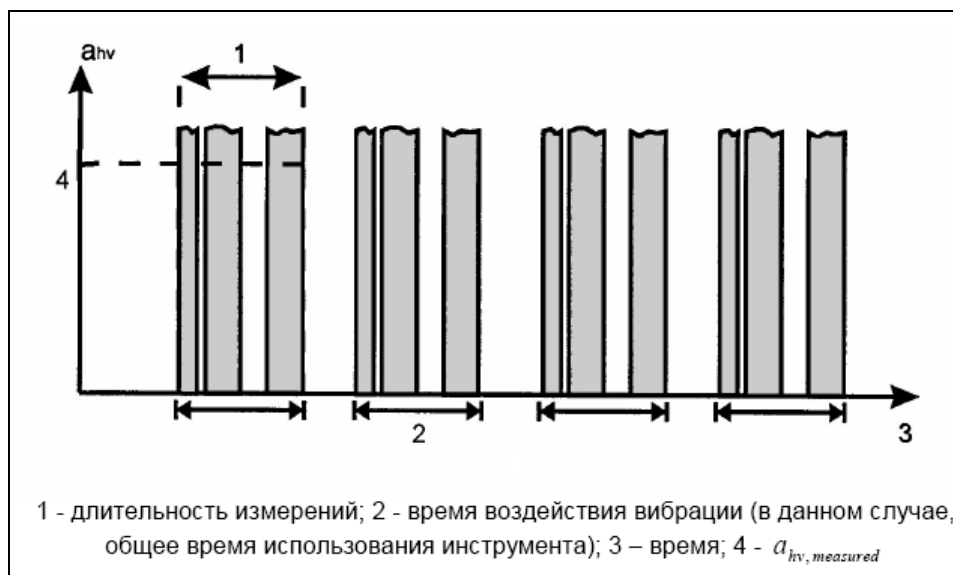
По возможности измерения начинают в момент первого контакта рук рабочего с вибрирующей поверхностью и завершают в момент разрыва этого контакта. В данном интервале времени могут наблюдаться изменения уровня вибрации, включая даже периоды ее полного отсутствия.

Если операция включает в себя непрерывное продолжительное вибрационное воздействие однотипного характера, то чтобы определить эквивалентный уровень, необходимо получить выборки измерений длительностью не менее 10 с каждая в разные моменты времени (суммарная продолжительность всех замеров для одной операции должна быть не менее 1 мин). Если измерения для разных выборок совпадают с точностью до 0,5 дБ, то можно любое из измерений (или их среднее) считать эквивалентным уровнем для всей операции. Если разброс показаний выше, то, следует рассчитать среднее значение $\langle L_{экви} \rangle$

$$\langle L_{экви} \rangle = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N 10^{L_{экви,n}/10} T_n \right),$$

Здесь $L_{экви,i,n}$ - результат n-ого замера эквивалентного уровня i-ой операции; T_n - продолжительность n-го замера, T - общая продолжительность всех замеров i-ой операции (сумма всех T_n)

Продолжительные измерения в процессе выполнения операции с перерывами



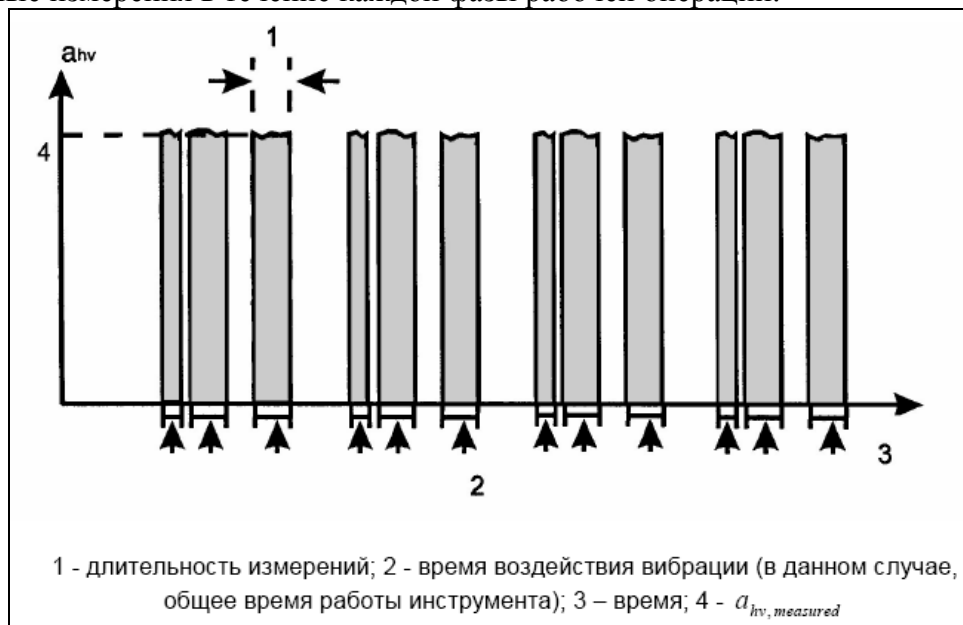
Если рабочая операция, выполняемая в течение длительного периода времени, включает в себя короткие остановки, когда воздействие вибрации отсутствует, то измерения вибрации также могут быть проведены в течение всего этого периода при условии, что указанные остановки являются составной частью выполнения операции и оператор постоянно поддерживает контакт с ручной машиной или обрабатываемой деталью, существенно не изменяя положения своих рук.

В остальном процедура измерений совпадает с предыдущим пунктом.

Кратковременные измерения в процессе выполнения операции с перерывами

Если в процессе работы оператор может часто отпускать (откладывать в сторону) ручную машину или обрабатываемую деталь, перемещать руки к другим частям машины или брать новые детали для обработки, а также если в ручную машину могут быть внесены ка-

кие-то изменения (например, вставлены другие шлифовальные ленты или сверла), или оператор берет другую ручную машину, то во всех этих случаях применимы только кратковременные измерения в течение каждой фазы рабочей операции.



Для каждой операции проводится не менее 3 замеров, каждый продолжительностью не менее 10 сек. При этом суммарное время измерений для всей операции не должно быть менее 1 мин.

Если в перерывах между различными фазами операциями вибродатчик не подвергается воздействию, способному вызвать перегрузку, можно просто останавливать виброметр кнопкой СТОП, а при возобновлении вибрационного воздействия возобновлять измерения. Таким способом можно накапливать данные до тех пор, пока показания L_{eq} стабилизируются и перестанут сильно изменяться (при этом суммарная продолжительность измерения на индикаторе прибора должна быть не менее 1 мин). По возможности, повторите измерение несколько раз, чтобы убедиться в представительности результата. В случае большого разброса увеличьте продолжительность измерения. Полученное таким образом значение L_{eq} для коррекции W_h можно считать эквивалентным уровнем всей операции.

Если в перерывах между различными фазами операции датчик подвергается воздействию, способному вызвать перегрузку, то следует по окончании каждой фазы останавливать прибор (СТОП), производить запись в память (ЗАПИСЬ), сбрасывать измерения (СБРОС) и опять их запускать с началом новой фазы (СТАРТ). При таком способе эквивалентный уровень для данной операции получается энергетическим суммированием результатов отдельных замеров по формуле:

$$L_{экв, опер} = 10 \lg \left(\frac{1}{T_{изм}} \sum_j 10^{L_{замер j} / 10} T_j \right),$$

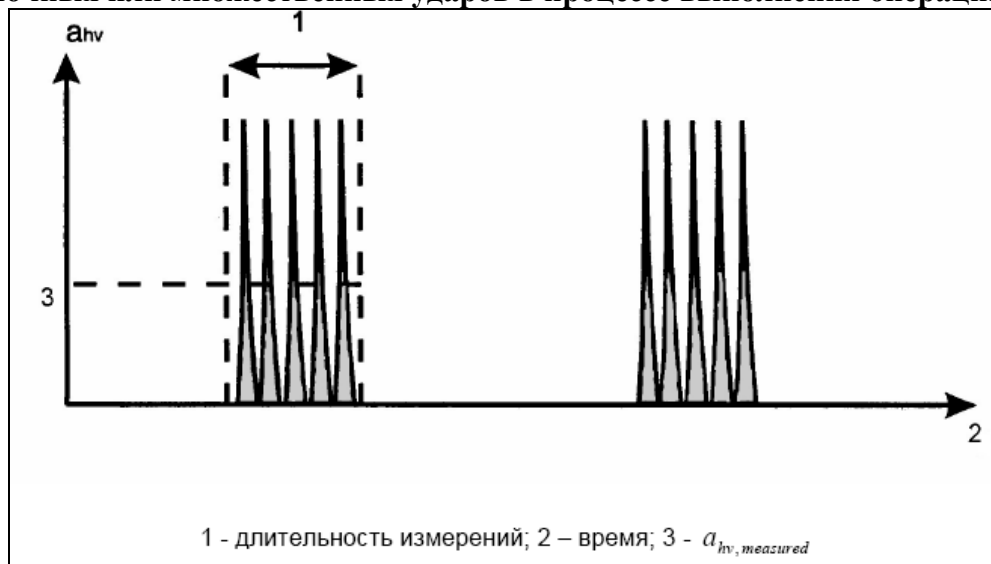
где $L_{замер, j}$ — показания виброметра на характеристике L_{eq} для j -го кратковременного замера, T_j — продолжительность j -го замера, $T_{изм} = \sum_j T_j$ — суммарная продолжительность измерений (не путать с общей продолжительностью операции!).

Измерения очень короткой длительности (менее 8 с) ненадежны в части оценки низкочастотной составляющей, поэтому их рекомендуется избегать. При необходимости, если время воздействия вибрации в процессе выполнения операции мало (например, для шлифовальных станков некоторых типов характерно очень короткое время контакта с вибрирующей поверхностью), увеличивают общее число измерений таким образом, чтобы общая дли-

тельность измерений для данной операции составила 1 мин и более.

Если проведение измерений при обычном выполнении операции невозможно или затруднено, допускается выполнить их при имитации рабочего процесса. Основным назначением имитации рабочей операции является обеспечение проведения измерений в течение длительного периода времени, что невозможно реализовать в обычных условиях ее выполнения.

Измерения в течение фиксированного периода времени всплесков вибрации, одиночных или множественных ударов в процессе выполнения операции



Если при выполнении отдельных операций (например, с использованием клепальных молотков, гвоздезабивных машин и т.д.) наблюдают кратковременные всплески вибрации, которые могут носить характер одиночных или множественных ударов, или само воздействие вибрации может быть кратковременным (например, при использовании ударных гайковертов), то получение оценки реального времени воздействия может часто оказаться затруднительным, хотя общее число процессов импульсного типа в течение всего рабочего дня можно легко оценить. В этом случае рекомендуется проводить измерения в течение фиксированного интервала времени, включающем в себя время, затраченное на одну или несколько законченных операций с использованием ручной машины. Дальнейшая обработка результатов с целью определения эквивалентного уровня всей операции осуществляется так же, как в предыдущих пунктах.

Как пересчитать виброускорение в виброскорость?

Виброметр ОКТАВА-101BM/110В в комплекте с вибропреобразователем AP2038 обеспечивает прямые измерения 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 треть-

октавных 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

Корректированные уровни виброскорости

Сначала необходимо произвести измерение скорректированного уровня виброускорения L_a , используя соответствующую частотную коррекцию (Wh – для локальной вибрации; Wd – для общей вибрации в направлениях X и Y; Wk – для общей вибрации в направлении Z).

Корректированный уровень виброскорости L_v затем определяется по формуле:

$$L_v = L_a + C \quad (1)$$

Постоянная C для локальной вибрации «-14 дБ»

Что точнее: рассчитывать скорректированный уровень методом суммирования по октавам или проводить его прямое измерение корректирующими фильтром Wh?

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 пропускания, для получения статистически представительного измерения они требуют в несколько раз больше времени, чем широкополосный корректирующий фильтр Wh. 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 отрабатывать 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 прибора и имеют сильные искажения. Корректирующие фильтры 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 корректирующий фильтр Wh.

Приложение 1. Амплитудно-частотные характеристики фильтров Wh и Fh прибора ОКТАВА-101ВМ/110В.

Частота, Гц	Затухание, дБ		Допуск, дБ
	Wh	Fh	
6.3	-2.77	-3.01	±2
8	-1.18	-1.46	±2
10	-0.43	-0.64	±1
12.5	-0.38	-0.27	±1
16	-0.96	-0.11	±1
20	-2.14	-0.04	±1
25	-3.78	-0.02	±1
31.5	-5.69	-0.01	±1
40	-7.72	0.00	±1
50	-9.78	0.00	±1
63	-11.83	0.00	±1
80	-13.88	0.00	±0.2
100	-15.91	0.00	±1
125	-17.93	0.00	±1
160	-19.94	0.00	±1
200	-21.95	0.00	±1
250	-23.96	-0.01	±1
315	-25.97	-0.02	±1
400	-28.00	-0.04	±1
500	-30.07	-0.11	±1
630	-32.23	-0.27	±1
800	-34.60	-0.64	±1
1000	-37.42	-1.46	±2
1250	-40.97	-3.01	±2
1600	-45.42	-5.46	±∞

Приложение 2. Перечень нормативных документов в области измерения локальной вибрации

СН 2.2.4/21.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.

Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

ГОСТ 12.1.012-2004. Вибрационная безопасность. Общие требования.

ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1) - Вибрация — Измерения и оценка воздействия на человека локальной вибрации — Часть 1: Общие требования.

ГОСТ 31192.2-2005 (ИСО 5349-2) - Измерения и оценка воздействия на человека локальной вибрации. Часть 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах.