

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ**

М-А.Э. Текеев  
М.Д. Текеева

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ВИБРАЦИИ В  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И НА РАБОЧИХ МЕСТАХ**

Учебно-методическое пособие по курсу  
«Безопасность жизнедеятельности»  
для обучающихся по всем специальностям

ЧЕРКЕССК-2024 г.

УДК 628.517  
ББК 68.9:51.244.31  
Т30

Рассмотрено на заседании кафедры «Технологические машины переработка материалов»

Протокол № 1 от «05» 09. 2023 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом СКГА.

Протокол № 26 от «29» 2023 г.

**Рецензенты:**

Малсугенов Р.С.– к. т. н., доцент.

Казиев Ш.М.– к. т. н., доцент.

**Т 30      Текеев, М-А. Э.** Методы измерения и оценки вибрации в производственных помещениях и на рабочих местах: учебно-методическое пособие по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для обучающихся на всем специальностях / М-А. Э. Текеев, М.Д. Текеева. – Черкесск: БИЦ СКГА, 2024. – 36 с.

Настоящее учебно-методическое пособие составлено в целях оказания помощи при обучении и проверке знаний по безопасности жизнедеятельности (охране труда), как в образовательных учреждениях, так и организациях, а также для повышения компетентности руководителей и специалистов в вопросах обеспечения безопасности труда работников в процессе их трудовой деятельности.

**УДК 628.517**

**ББК 68.9:51.244.31**

© Текеев М-А.Э., Текеева М.Д., 2024

© ФГБОУ ВО СКГА, 2024.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Структура комплекса стандартов в области вибрационной безопасности	7
Направления осей при измерении для локальной вибрации	15
Направления осей при измерении для общей вибрации	18
Корректированные по частоте уровни и значения. Весовые коэффициенты	29
Заключение	34
Список литературы	35

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие механизации в строительстве и промышленности строительных материалов вызвало широкое использование вибрационной техники, мощных строительных машин и механизмов. В результате возрастает число людей, подвергающихся неблагоприятному воздействию высоких уровней вибрации.

Воздействие вибрации не только отрицательно сказывается на здоровье, ухудшает самочувствие, снижает производительность труда, но иногда приводит к профессиональному заболеванию виброболезни. По данным Всемирной организации здравоохранения повышенные уровни вибрации и шума являются ведущими факторами в возникновении сердечно-сосудистых заболеваний. Основными источниками вибрации и шума являются машины для приготовления, распределения и виброуплотнения бетонной смеси: бетоносмесители, дозаторные установки, виброплощадки, а также строительные машины, компрессоры, бульдозеры и др.

Ручной механизированный инструмент с электро- и пневмоприводом передает интенсивные вибрации на руки рабочего и характеризуется высоким уровнем шума.

При работе машин и механизмов низкочастотные вибрации вызываются инерционными силами, силами трения, периодическими рабочими нагрузками. Высокочастотные вибрации возникают в результате ударов из-за наличия зазоров в соединениях механизмов, ударов в зубчатых и цепных передачах, соударений в подшипниках качения. Колебаниями в технике называют движение, обладающие определенной повторяемостью во времени. Простейшими колебаниями являются гармонические, при которых переменная величина изменяется по закону синуса или косинуса:

По способу возбуждения колебания могут быть свободными или вынужденными. Свободные (собственные) колебания - это такие колебания, которые совершает механическая система, обладающая упругостью и массой, после выведения из состояния равновесия. Важнейшей характеристикой свободных колебаний является собственная угловая частота колебаний.

Вынужденные колебания обусловлены переменными внешними воздействиями возмущаемых сил. Изучать параметры этих колебаний лучше на примере простейшего гармонического процесса, который может быть описан одной с камерной переменной и называемой определяющей (колеблющейся) величиной. Если эта переменная – перемещение, тогда ее первая производная по времени – скорость, а вторая производная - ускорение.

Постоянный параметр  $\varphi$  называется начальной фазой колебаний, а аргумент называется фазой колебаний в момент времени .

В технической литературе и на практике принято определяющие величины для оценки вибрации – перемещение, скорость и ускорение - называть соответственно виброперемещением, виброскоростью и виброускорением. Интенсивность вибрационных воздействии на человека,

приборы и другие объекты зависят от частоты. Принято диапазон частот разбивать на отрезки (полосы частот) и вычислять уровни вибрации для каждой полосы в отдельности. В качестве стандартных частотных полос при гигиенической оценке вибрации принимают активные полосы, у которых отношение верхних граничных частот к нижним равно двум.

Вибрация подразделяется на контактную, которая распространяется от источника образования через промежуточные элементы, достигает поверхностей машин, агрегатов, строительных конструкций, соприкасающихся с человеком - оператором, и неконтактную - ту, которая не достигает поверхностей контакта, человеку не передается и не влияет на его здоровье.

Контактную вибрацию подразделяют на общую (тотальную) и местную (локальную).

Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Она вовлекает в колебательный процесс все тело человека. Общая вибрация имеет место, когда оператор находится непосредственно на вибрирующих поверхностях машин, агрегатов или в непосредственной близости от них на вибрирующих фундаментах или участках пола.

По источнику возникновения общую вибрацию подразделяют на три категории:

1. Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных машин и транспортных средств при их движении по дорогам.

2. Транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов машин с ограниченным перемещением только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок.

3. Технологическая вибрация возникает при эксплуатации напольного производственного транспорта, металлообрабатывающего, литейного оборудования, электрических машин, насосов и вентиляторов.

Местная (локальная) вибрация передается человеку через руки. Она возникает при использовании ручных машин.

При длительной работе на вибрационном оборудовании у рабочего может развиваться вибрационная болезнь, характеризующаяся нарушением функций различных органов и прежде всего периферической и центральной нервной системы.

Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий СН 2.2.4/2.1.8.566-96 ГОСТ 12.1.012-90, Вибрационная безопасность. Общие требования

СН 2.2.4/2.1.8.566-96, классификация вибраций

По способу передачи:

- Общая – передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека

- Локальная – передается через руки человека, ноги сидящего человека, предплечья, опирающиеся на вибрирующие поверхности

По источнику возникновения:

- Общая 1 кат. – на РМ самоходных и прицепных машин, средств транспорта, строительно-дорожных машин, промышленных и сельскохозяйственных тракторов, горношахтного рельсового транспорта

- Общая 2 кат. – на РМ транспортно-технологических машин, экскаваторы, промышленные и строительные краны, бурильные машины, путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт

- Общая, категория 3а – на РМ основных производственных помещений, где расположено технологическое оборудование, являющееся источником вибрации

- Общая, категория 3б – на РМ вспомогательных производственных помещений, где нет технологического оборудования, являющегося источником вибрации

- Общая, категория 3в – на РМ административных помещений предприятий

Нормируемые параметры СН 2.2.4/2.1.8.566-96,  
ГОСТ 12.1.012-90.

Уровни или значения виброскорости или виброускорения локальная -  
Leq(корр),L(окт) 8-1000Гц ; направления X , Y , Z ;

Общая - категория 3а (технологическая), категория 2 (транспортно-технологическая), категория 1 (транспортная) -

Leq (корр), L(окт) 2 (1\*) - 63Гц ; \* - для категории 1 (транспортной)  
направления X , Y , Z ;

## СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ВИБРАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Тип А	Базовый стандарт 12.1.012-2004	Общая вибрация 31191.1-2004	Локальная вибрация 31192.1-2004
Тип В	16519-2006 (ИСО 20643:2005) ручные машины основы метода испытаний	31319-2006 (ЕН-14253) измерение на рабочих местах	31192.2-2004 измерение на рабочих местах
	31193-2004 (ЕН 1032:2003) самоходные машины основы метода испытаний	31191.2-2004 (ИСО 2631-2) измерение внутри зданий	
	10326-1-2002 сидения ТС лабораторные испытания	31191.4-2004 (ИСО 2631-4) рельсовый транспорт	

ГОСТ 12.1.012-2004 Вибрационная безопасность. Общие требования.

Область применения

- Настоящий стандарт устанавливает общие требования к обеспечению вибрационной безопасности на производстве, транспорте, в строительстве, горных и других работах, связанных с неблагоприятным воздействием вибрации на человека.

- Настоящий стандарт устанавливает также структуру комплекса стандартов в области вибрационной безопасности и требования к этим стандартам.

- Настоящий стандарт распространяется на различные аспекты профессиональной деятельности, когда вибрация оказывает непосредственное неблагоприятное воздействие на человека в результате его прямого контакта с вибрирующей поверхностью машины, через объекты обработки (например, обрабатываемое изделие) или через объекты, имеющие с источником вибрации механическую связь и (или) связь других видов.

- Настоящий стандарт распространяется на вибрацию всех видов: периодическую, случайную, переходные процессы. Стандарт не распространяется на воздействие кратковременной вибрации в виде ударов и переходных процессов большой мощности, имеющих место в результате аварий и поломок машин, транспортных средств, механизированного инструмента и оборудования (далее – машины), которые могут повлечь за собой получение травм.

ГОСТ 31192.1-2004 Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека

Общие требования

- Настоящий стандарт устанавливает общие требования по измерению и представлению результатов измерений локальной вибрации в трех взаимно ортогональных направлениях.

- Определены форма частотной коррекции и направления осей измерения.

• Настоящий стандарт распространяется на все виды вибрации: периодическую, случайную, переходные процессы

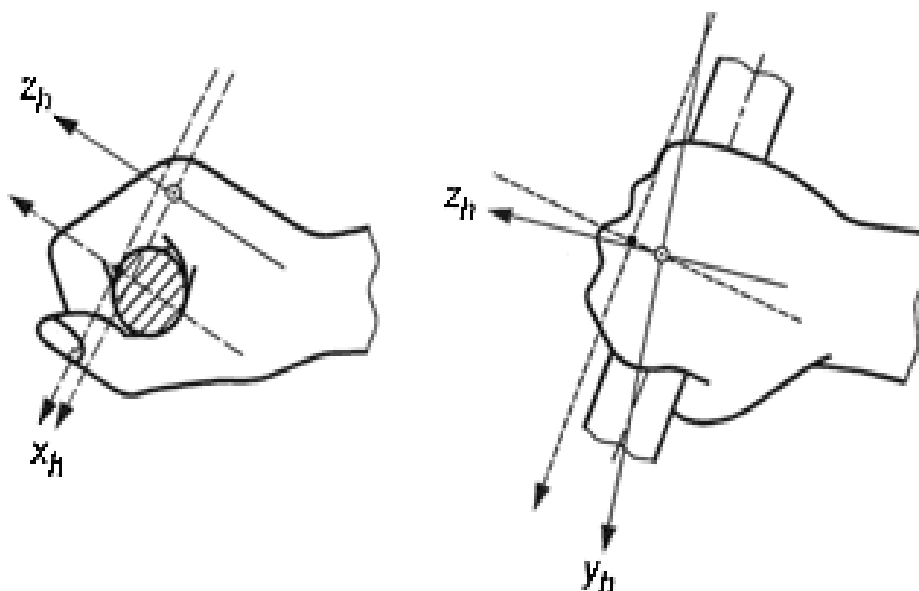
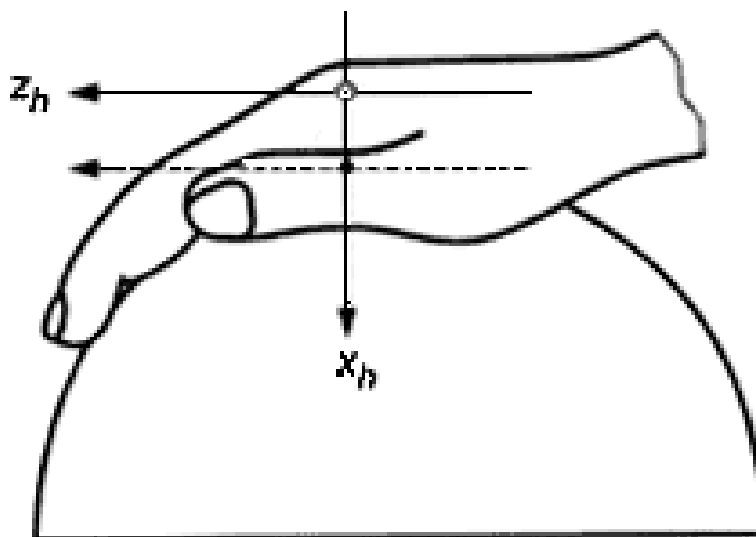
• Введено понятие полной вибрации

$$a_{hv} = (a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvx}^2)^{0.5}$$

и вибрационной экспозиции

$$A(8) = a_{hv(eq,8h)} = a_{hv} (T/T_0)^{0.5} = (1/T_0 \sum a_{hvi}^2 T_i)^{0.5}$$

### НАПРАВЛЕНИЯ ОСЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ



ГОСТ 31192-2-2004 Вибрация

Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека

Требования к проведению измерений на рабочих местах

Термины и определения:



**СТАНОК С РУЧНОЙ ПОДАЧЕЙ:** Машина, к исполнительной части которой

оператор подает обрабатываемую деталь, подвергаясь через нее воздействию локальной вибрации. (Ленточнопильный станок, шлифовальный станок.)

**МАШИНА С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ:** Машина, через органы управления которой: рукоятки, рычаги или рулевое колесо, – вибрация воздействует на оператора.

(Самоходная газонокосилка, автопогрузчик, качающаяся шлифовальная рама.) **ОБРАБАТЫВАЕМАЯ ДЕТАЛЬ:** Деталь, которая удерживается руками опера-

тора и передает на них вибрацию, возникающую в процессе обработки.

(Отливка, обрабатываемая на шлифовальном станке, деревянная заготовка, подаваемая в ленточнопильный станок.)

Примечание – Локальная вибрация может воздействовать на оператора одновременно через обрабатываемую деталь и органы управления станком, на котором деталь обрабатывают.

**РУЧНАЯ МАШИНА:** Ручной механизированный инструмент, который в процессе работы удерживается руками оператора, полностью или частично воспринимающего вес инструмента. (Электрическая дрель, пневматическое зубило, цепная пила.)

**ВСТАВНОЙ ИНСТРУМЕНТ:** Сменное приспособление, которое крепят внутри или снаружи ручной машины (Буровая головка, зубило, цепь цепной пилы, диск пилы, шлифовальный диск.)

Выбор операций, для которых проводят измерения

- Важно, чтобы измерения были проведены для всех ручных машин и объектов обработки.

Для получения полной картины воздействия вибрации в течение рабочего дня необходимо идентифицировать:

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

- 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);

- все изменения условий работы, которые могут оказать влияние на уровень воздействующей вибрации (например, бетонолом 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).

- 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 широким набором различных зубил).

#### Длительность проведения измерений

##### Измерения в режиме обычного выполнения рабочих операций

- Результаты измерений получают усреднением по интервалу времени, представляемому с точки зрения типичного использования ручной машины или типичного выполнения технологического процесса. 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.

- По возможности выборочные измерения проводят в различные моменты рабочего дня с последующим усреднением, чтобы были учтены изменения в характере вибрации на протяжении рабочего дня.

- Общее время измерения, представляющее собой сумму отдельных измерений, не должно быть менее 1 мин.

- Измерения очень короткой длительности (менее 8 с) ненадежны в части оценки низкочастотной составляющей.

- Для получения хорошего разрешения по частоте в низкочастотной области диапазона длительность измерения должна быть не ниже 20 с (п.6.1.8)

- Результаты серии из  $N$  измерений вибрации усредняют по формуле:

$$a_{hv} = (1/T \sum a_{hvj}^2 t_j)^{0.5}, \text{ где } T = \sum t_j$$

#### Организация проведения измерений

##### 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.

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

##### Продолжительные измерения в процессе выполнения операций 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.

- Для оценки вибрационной экспозиции за смену помимо информации об уровне вибрации необходима также оценка длительности воздействия вибрации в течение рабочего дня. В данном случае оценка длительности воздействия включает в себя короткие перерывы в воздействии вибрации и, таким образом, превышает собственно время воздействия вибрации.

Кратковременные измерения в процессе выполнения операции с перерывами

- Если в процессе работы оператор может часто отпускать (откладывая 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 какие-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.

- Иногда получение надежных измерений во время обычного выполнения рабочей операции затруднительно или невозможно, поскольку с точки зрения процедуры измерения длительность действия вибрации может быть слишком коротка.

В этом случае допускается проведение измерений в процессе имитации рабочей операции, когда периоды действия вибрации искусственно удлиняют, но рабочие условия при этом поддерживают максимально близкими к тем, что имеют место при обычном выполнении рабочей операции.

- Для оценки вибрационной экспозиции за смену помимо информации об уровне вибрации необходима также оценка длительности воздействия вибрации для каждой рабочей фазы операции

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. Период измерений, по возможности, должен включать в себя минимальные интервалы до начала, после окончания и в перерыве между импульсными воздействиями.

- Для оценки вибрационной экспозиции за смену помимо информации о числе импульсов вибрации в течение рабочего дня и их уровнях необходима также информация о длительности измерений и числе импульсов вибрации в каждый период измерений.

Измерения при имитации рабочих операций

- 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. Например, обработка небольшой по размеру отливки на шлифовальном станке может занимать всего несколько секунд. В этом случае вместо проведения большого числа кратковременных измерений для разных отливок целесообразно имитировать выполнение операции шлифования на небольшом числе бракованных отливок, используя каждую из них по несколько раз.

- Процессы приложения ручной машины к объекту обработки и ее отнятия, а также замена ручной машины или обрабатываемого изделия – все это может повлиять на результат измерений. Для предотвращения этого рекомендуется проводить измерения при имитации рабочего процесса, специально организованного таким образом, чтобы избежать остановок в выполнении операций.

Проведение измерений вибрации

Измерительная аппаратура

Крепление акселерометров

- Акселерометр следует устанавливать жестко.
- 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 измерительного тракта, она не должна ослаблять или

усиливать отдельные составляющие вибрации и не должна вносить резонансы по всему частотному диапазону.

- Надежность фиксации датчиков следует тщательно проверять до и после проведения измерений.

#### Измерительная аппаратура 6.1.5 Масса акселерометра

- Установка акселерометра на вибрирующую поверхность влияет на характер вибрации.

- Чем больше присоединенная масса датчика, тем более существенны изменения.

- Если общая масса акселерометра 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.

- На практике можно добиться того, чтобы масса всей системы для измерений трехкомпонентной вибрации не превышала 30 г.

#### Приложение D: Рекомендации по креплению акселерометров

Шпилька, болт	Хорошая частотная характеристика Нет зависимости от температуры поверхности	Поверхность контакта должна быть плоской Нельзя использовать в случае возможности повреждения ручной машины
Клей	Хорошая частотная характеристика	Поверхность контакта должна быть плоской и чистой
Цемент, эпоксидный клей	Хорошая частотная характеристика Крепление к неровной поверхности	Поверхность контакта должна быть чистой Продолжительность твердения
Хомут	Пригоден для измерения трехкомпонентной вибрации	Значительная вносимая масса
Кистевой адаптер	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

## Уровень вибрации

- Ручные машины могут производить вибрацию высокого уровня. Пневматические молотки способны создавать вибрацию с максимальным ускорением от 20000 до 50000 м/с<sup>2</sup>. При этом большая часть вибрационной энергии лежит далеко за пределами нормируемого частотного диапазона. Поэтому выбирать для измерений следует такой акселерометр, который может сохранять способность функционировать при таких высоких значениях ускорения и, в то же время, обеспечивать измерения вибрации значительно более низкого уровня в диапазоне от 5,6 до 1400 Гц. Вибрацию на очень высоких частотах можно подавить с помощью механического фильтра.

## Приложение: Механические фильтры

- При проведении измерений на машинах ударного или вращательно-ударного действия, рекомендуется применять механический фильтр, устанавливаемый между датчиком и источником вибрации.

- Фильтр позволяет ослабить составляющие переходного процесса на очень высоких частотах и тем самым предотвратить механические перегрузки пьезоэлемента акселерометра.

- Механический фильтр работает как фильтр нижних частот, ослабляющий те частотные составляющие, которые служат источником появления сдвига нулевого уровня, что проявляется в появлении НЧ паразитного сигнала. Сдвиг нулевого уровня является особенностью работы пьезоэлектрических акселерометров. У резистивных такого нет.

- Другое назначение механического фильтра – уменьшить влияние нежелательных высокочастотных составляющих вибрации на акселерометр и предусилитель, чтобы не допустить их перегрузки. Это позволит использовать акселерометры с более высоким значением коэффициента преобразования.

- Механический фильтр должен соответствовать применяемому акселерометру.

- Частота среза механического фильтра зависит от массы акселерометра.

- Не рекомендуется устанавливать на механический фильтр трехкомпонентный датчик вибрации.

Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека.  
Общие требования

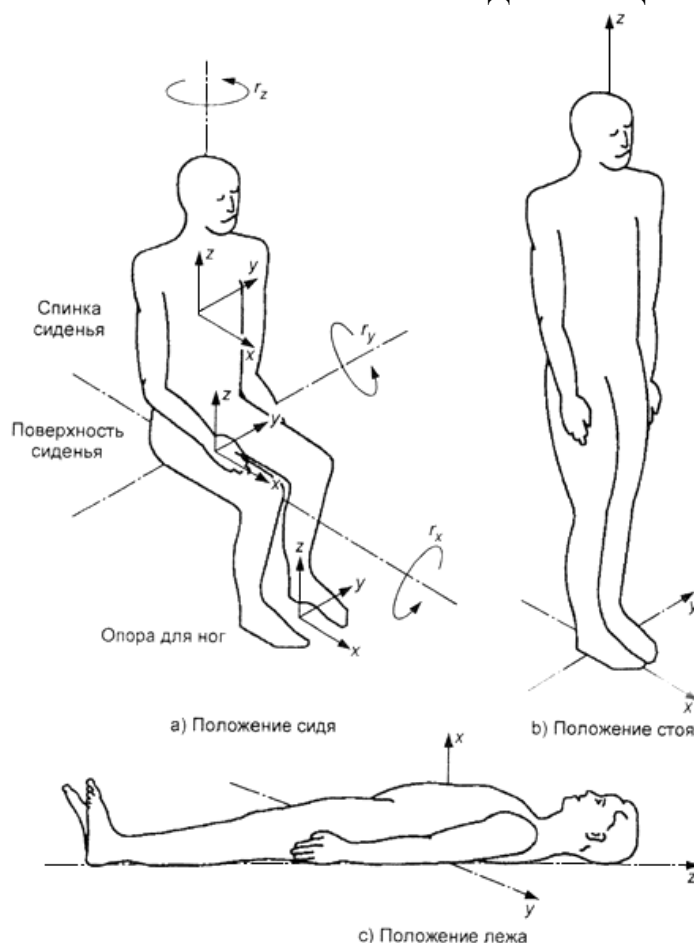
- Настоящий стандарт устанавливает методы получения значений параметров, на основе которых могут быть сделаны заключения о допустимости действующей вибрации в соответствии с требованиями национального законодательства. Приводимый в стандарте перечень измеряемых параметров и рекомендации по их использованию при оценке вибрации установлены на основе международного опыта и применимы к разным условиям и разным видам вибрации, включая вибрацию с большим

значением пик-фактора. Принятые на национальном уровне гигиенические нормативы могут устанавливать предельные значения для одного или нескольких параметров из данного перечня.

Область применения

- Настоящий стандарт устанавливает общие требования по измерению общей вибрации разных видов: периодической, случайной, в форме переходных процессов. В стандарте указаны основные факторы, которые необходимо принимать во внимание для определения приемлемости действующей вибрации с точки зрения ее влияния на здоровье и степень комфорта, чувствительности к вибрации (0.5 – 80 Гц) и подверженности болезни движения (0.1 – 0.5 Гц).

### НАПРАВЛЕНИЯ ОСЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДЛЯ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ



Точки измерений

Датчик должен быть размещен в точке, где вибрация передается на тело человека. Рекомендуются следующие точки измерений:

- подушка сиденья – точка под седалищным бугром сидящего человека;
- спинка сиденья – точка, в которой давление тела человека максимально;

- опорная поверхность для ног - точка наиболее частого контакта ноги с поверхностью.

- Для лежащего человека измерения проводят на опорной поверхности под тазом, спиной и головой. Во всех случаях точки измерений должны быть точно зафиксированы.

Если проведение непосредственных измерений вибрации на поверхности контакта тела человека и опорной поверхности невозможно из практических соображений, ее допускается измерять на жестких элементах конструкции здания или транспортного средства. Использование таких данных в целях оценки воздействия вибрации на человека требует проведения дополнительных расчетов и знания динамики поведения конструкции.

Если измерения на спинке сиденья в точке ее контакта с телом человека невозможны, допускается их проведение на раме за спинкой. В этом случае результаты измерений должны быть скорректированы с учетом передаточных свойств спинки сиденья.

Вибрация, передаваемая на тело человека от жестких поверхностей, может быть измерена на опорной поверхности вблизи области контакта (обычно в пределах 10 см от центра этой области).

Вибрация, передаваемая телу человека через мягкие или упругие материалы (например, подушку сиденья или дивана), должна быть измерена с помощью датчика, установленного между телом человека и основной областью контакта на поверхности. Для этого датчик помещают внутрь специального установочного приспособления. Последнее не должно сильно изменять распределение давления на поверхность упругого материала. При измерениях на мягкой поверхности человек должен принять нормальное для данных условий положение.

- Примечание – Типичная конструкция приспособления для крепления акселерометра при проведении измерений на сиденье представлена в ГОСТ ИСО 10326-1.

#### Длительность измерений

- Длительность измерений должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить требуемую статистическую точность обработки сигнала. Кроме того, она должна обеспечивать проведение измерения для представительного участка сигнала вибрации. Длительность измерений должна быть зафиксирована.

- Если общая запись сигнала вибрации, воздействующей на человека, содержит несколько участков с разными характеристиками, то для каждого такого участка может потребоваться проведение отдельного анализа.

В случае стационарного случайного сигнала точность измерений зависит от длительности измерений и полосы фильтрации. Например, чтобы ошибка измерений при проведении анализа вибрации в третьоктавной полосе частот не превышала 3 дБ при доверительной вероятности 90%, минимальная длительность измерений для значения нижней границы диапазона частот



измерений 1 Гц должна составлять 108 с, а для значения 0,5 Гц - 227 с. Обычно условие получения представительного участка сигнала вибрации требует значительно большей длительности измерений.

Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах

- Настоящий стандарт устанавливает руководство по проведению измерений и оценке общей вибрации на рабочем месте. Получаемый в соответствии с настоящим стандартом нормируемый параметр вибрации - эквивалентное виброускорение - сопоставлять с установленным гигиеническим нормативом.

- Настоящий стандарт указывает способы получения значения эквивалентного виброускорения, включая правила выбора рабочих операций, которые необходимо учитывать при оценке вибрационного воздействия на рабочем месте.

- Настоящий стандарт применяют в случаях, когда на рабочем месте действует вибрация, передаваемая через ягодицы сидящего или ноги стоящего человека\*.

- \* *В отличие от ГОСТ 31191.1, предписывающего оценивать влияние вибрации на здоровье только по измерениям на поверхности сиденья, здесь добавлены измерения на опоре ног стоящего человека, которые по ГОСТ 31191.1 используют для оценки степени комфорта.*

- Настоящий стандарт рассматривает оценку воздействия вибрации только на основе измерений среднеквадратичного значения скорректированного виброускорения. Это может привести к недооценке степени жесткости вибрации, если она носит ударный или импульсный характер.

#### Термины и определения

- операция: Идентифицируемый рабочий процесс (совокупность выполняемого рабочего задания и рабочих условий), для которого проводят измерения представительной вибрации.

- *Пример - Рабочим заданием может быть перевозка грузов на грузовом автомобиле, подъем груза вилочным автопогрузчиком и т.д., а рабочими условиями могут быть плохое или хорошее состояние дорожного покрытия, твердый или мягкий грунт, подлежащий выемке, и т.д.*

- рабочий цикл: Повторяющаяся в течение рабочего дня операция или серия разных операций.

- эквивалентное виброускорение  $A_1(8)$ : Среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения сигнала, энергия которого на 8-часовом интервале равна полной энергии реального вибрационного воздействия на рабочем месте за рабочую смену с учетом корректирующего коэффициента для данного направления измерений

• Величина соответствует понятию "корректированное эквивалентное значение виброускорения при длительности вибрационного воздействия 8 ч", применявшемуся в редакции ГОСТ 12.1.012-90.

• Примечание - Величина может быть определена по формуле:

$$A_l(8) = k_l [1/T_0 \int a_{lw}^2(t) dt]^{0.5}$$

Измеряемые и рассчитываемые параметры

Для каждой *i*-й операции измерению (оценке) подлежат следующие основные параметры:

• среднеквадратичное значение корректированного виброускорения  $a_{wi}$ , м/с<sup>2</sup>, в каждой из трех осей системы координат, связанной с опорной поверхностью;

• общая длительность  $T_i$  воздействия вибрации в процессе выполнения *i*-й операции в течение рабочего дня.

Для каждого направления значение эквивалентного виброускорения  $A_l(8)$ , м/с<sup>2</sup>, определяют по формуле:

$$A_l(8) = k_l (1/T_0 \sum a_{lwi}^2 T_i)^{0.5} \text{ где } l - \text{ индекс направления } z, x, y;$$

$$k_z = 1; k_x = k_y = 1.4; T_0 = 8 \text{ час}$$

Долю отдельной операции или рабочего цикла *i* в значении эквивалентного виброускорения определяют по формуле:

$$A_{il}(8) = k_l a_{wli} (T_i / T_0)^{0.5}$$

Подготовка к проведению измерений

• До проведения измерения необходимо определить, какие рабочие операции способны вносить существенный вклад в общую вибрационную экспозицию за смену.

• Следует точно определить место выполнения и характер каждой такой операции, после чего количественно оценить полное время ее выполнения в течение одного рабочего дня для конкретного рабочего.

• Вибрационная экспозиция за смену может быть определена для конкретного человека в конкретный рабочий день.

• В некоторых случаях полезным может оказаться расчет значения вибрационной экспозиции для воображаемого "типичного" рабочего дня посредством обоснованного выбора представительных измерений вибрации и длительности ее воздействия.

Для каждой выбранной операции должно быть установлено следующее:

• используемая машина;

• полное описание операции (например, для вилочного погрузчика: движение, погрузка или работа на холостом ходу; для экскаватора: движение, выемка грунта или сочетание этих операций);

• условия выполнения операции;

- характеристики грунта или покрытия, по которым движется машина;
- положение и регулировки сиденья;
- сколько раз данная операция повторяется в течение рабочего дня;
- среднее время выполнения данной операции;
- по возможности, характер вибрации (непрерывная, импульсная, ударного типа, источник и основное направление действия).
- Следует определить все изменения в условиях выполнения операции, которые могут повлиять на уровень вибрационного воздействия.

- Хронометраж рабочего дня используют для установления операций, при выполнении которых наблюдают вибрационное воздействие, дающее существенный вклад в общее значение вибрационной экспозиции, и оценки условий, в которых должны быть сделаны измерения вибрации. Измерения следует проводить для всех машин и операций, которые могут давать существенный вклад в вибрационную экспозицию за смену.

В этом случае измерения проводят на некотором периоде в ходе выполнения операции или в течение всей операции, которая может сопровождаться короткими перерывами, являющимися типичными для данной операции (например, остановки на запрещающий сигнал светофора).

Помимо измерения параметров вибрации для оценки вибрационной экспозиции за смену необходимо определять длительность воздействия вибрации в течение рабочего дня.

Рабочий день состоит из операций, сопровождающихся вибрацией разного уровня, длительность которых мала по сравнению с длительностью рабочего дня (например, погрузка и движение по неровной поверхности колесного погрузчика, движение и подъем грузов вилочным автопогрузчиком).

В этом случае измерения следует проводить либо отдельно для каждой операции и затем суммировать результаты измерений, либо, если есть такая возможность, проводить измерения для сочетания таких операций.

Помимо измерения параметров вибрации для оценки вибрационной экспозиции за смену необходимо определять длительность воздействия вибрации в течение рабочего дня

- Число измерений и их длительность выбирают таким образом, чтобы обеспечить получение скорректированной вибрации, представительной для 8-часового рабочего дня.

- Если непрерывное измерение вибрации в течение рабочего дня невозможно, продолжительность измерений зависит от характеристик рабочих операций

- Если рабочий день состоит из продолжительных непрерывных операций, необходимо в разные моменты рабочего дня получить выборки измерений длительностью не менее 3 мин каждая и провести по ним усреднение, для того чтобы учесть колебания уровня вибрации в течение дня.

- Число выборок измерений  $n$  должно быть достаточным для демонстрации того, что полученное в результате усреднения значение является представительной характеристикой для вибрации, действующей на протяжении рабочего дня.

- Если рабочий день состоит из операций небольшой длительности, повторяющихся в течение дня несколько раз, расчет вибрационной экспозиции за смену осуществляют на основе измерений в пределах полного рабочего цикла. Число рабочих циклов, для которых проводят измерения, должно быть достаточным, чтобы продемонстрировать, что полученное среднее значение является представительной характеристикой вибрации, действующей на протяжении всего рабочего дня.

- Если операции в течение рабочего дня выполняются однократно (без повторений), измерения проводят во время выполнения каждой операции.

- Если в течение рабочего дня нет повторяющихся рабочих циклов, а продолжительность каждой операции не превышает 3 мин, тогда, для получения общей длительности измерений в процессе выполнения операции не менее 3 мин, такие операции могут быть повторены. В качестве альтернативного метода для получения измерений на периоде не менее 3 мин рабочие операции могут быть смоделированы искусственно.

- Вибрацию измеряют на поверхности сиденья для сидящего человека и на полу для стоящего и, при необходимости, сидящего человека.

- Акселерометры устанавливают таким образом, чтобы измерять вибрацию в точке контакта человеческого тела с вибрирующей поверхностью.

- При установке на самодвижущихся машинах измерительное оборудование следует жестко фиксировать с помощью болтов, хомутов, двухсторонних клеящих лент и т.д.

- Некоторые виды аппаратуры, такие как записывающие устройства, должны быть защищены от воздействия ударов или переходных процессов.

- 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 нежесткой или упругой поверхности акселерометр устанавливают с помощью полужесткого диска по ГОСТ ИСО 10326-1.

- Примечание – 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. Акселерометры, используемые для измерений в области ног, должны быть жестко установлены на поверхности опоры.

- 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).

#### Время усреднения

- Уровень сигнала вибрации должен быть усреднен по периоду нормального использования машины. Время интегрирования должно включать в себя по крайней мере один рабочий цикл машины. Если длительность рабочего цикла невелика, следует объединить несколько циклов для получения, по возможности, общего времени интегрирования не менее 15 мин. В любом случае время интегрирования не должно быть менее 3 мин.

- Для получения среднеквадратичного значения на периоде одной или нескольких операций или рабочих циклов должна быть использована процедура линейного усреднения. Измерительная аппаратура, реализующая лишь процедуру экспоненциального усреднения, может быть использована только в случае, если сигнал вибрации является практически стационарным.

#### Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Вибрация внутри зданий

- Вибрация, воздействующая на людей внутри зданий, может по-разному восприниматься ими, но, как правило, сопровождается ощущением дискомфорта, что можно определить как ухудшение качества жизни.

- Для оценки вибрации внутри зданий с точки зрения комфортности проживания и вероятности появления жалоб от их обитателей удобно использовать интегральные взвешенные характеристики. Полученное значение параметра вибрации позволяет охарактеризовать конкретное помещение внутри здания с позиции его пригодности к проживанию.

- Целью настоящего стандарта является также установление единого порядка сбора данных, относящихся к реакции человека на вибрацию внутри зданий.

#### Область применения

- Настоящий стандарт устанавливает общие требования, относящиеся к измерению и оценке общей вибрации внутри зданий с точки зрения ее влияния на степень комфорта обитателей.

- Настоящий стандарт распространяет метод измерения и оценки вибрации по ГОСТ 31191.1 на случаи, когда типичная поза обитателей здания, в которой они испытывают воздействие вибрации, не определена.

Для этой цели в настоящем стандарте установлена функция частотной коррекции, которую применяют в диапазоне частот от 1 до 80 Гц.

#### Термины и определения

- оценка: Вынесение суждения на основе процедур сбора, измерения, обработки, классификации и представления соответствующих данных.

- 3.2 здание: Стационарное сооружение, используемое для проживания или пребывания в нем людей.

- *Пример - Офис, фабрика, больница, школа, детский сад, ясли.*

- 3.3 время работы источника вибрации: Период времени между началом и окончанием действия источника вибрации.

- 3.4 время воздействия: Период времени, в течение которого имеет место воздействие вибрации.

- 3.5 тип вибрации: Элемент классификации вибрации по характеру распределения ее энергии во времени.

Различают следующие типы вибрации:

- по непрерывности действия - непрерывная, прерывистая, импульсная;

- по уровню - постоянная (на наблюдаемом интервале действия вибрации максимальное и минимальное значения измеряемого параметра различаются не более чем в два раза) и непостоянная.

#### Измерение вибрации внутри здания

- Общие положения. Общие требования - по ГОСТ 31191.1.

- Направление измерений

- Вибрацию измеряют одновременно в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Система координат должна быть привязана к конструкции здания\*, а направления ее осей Z, X, Y и должны совпадать с направлениями соответствующих осей для стоящего человека, определенными в ГОСТ 31191.1. Оси координат выбирают так, чтобы они лежали преимущественно в плоскостях, параллельных плоскостям основных несущих элементов.

- Точки измерений

- Оценку воздействия вибрации на человека проводят с учетом того, где, в каком количестве могут находиться в здании люди и чем они заняты. Каждое выбранное внутри здания помещение оценивают с точки зрения его соответствия установленному критерию. Вибрацию внутри помещения измеряют в тех местах, где ее значение (с учетом частотной коррекции) максимально, или в специально определенных (исходя из целей оценки) точках.

- Примечание - Рекомендуются провести несколько измерений вокруг выбранной точки, чтобы оценить разброс значений параметра вибрации.

#### Частотная коррекция

- Измеряемым параметром является среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения (далее - ускорение).

- При неопределенной позе человека используется частотная коррекция  $W_m$  для измерений по всем направлениям

- Примечание - Если поза человека во время воздействия на него вибрации точно определена, используют функции частотной коррекции по ГОСТ 31191.1 ( $W_k$ ,  $W_d$ )

ГОСТ 31191.4-2004

Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека.

Руководство по оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсового транспортного средства

- Рельсовые транспортные средства в процессе движения производят прогнозируемые, но сложные по составу и форме пространственные колебания, вид которых зависит от рельсового пути, конструкции транспортного средства и конструкции сиденья (или спального места).

- Степень комфорта пассажиров транспортного средства определяется не только вибрацией, но также и тем, насколько эта вибрация ожидаема с учетом класса оплаченных услуг.

- Настоящий стандарт предназначен для использования организациями, определяющими характеристики транспортных средств, покупающими их или осуществляющими их эксплуатацию.

- Методы оценки, установленные в настоящем стандарте, относятся в большей степени к сравнительной комфортности транспортных средств, нежели к абсолютному уровню комфорта.

Область применения

- Настоящий стандарт устанавливает руководство по применению ГОСТ 31191.1 для оценки влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсовых транспортных средств.

- Данное руководство предполагает получение оценки степени комфорта в процессе поездки на рельсовом транспортном средстве на основе рассмотрения только действующей на человека вибрации без учета других влияющих факторов.

- Настоящий стандарт распространяется на людей с нормальным состоянием здоровья.

- Настоящий стандарт устанавливает метод оценки воздействия колебаний на очень низких частотах (от 0,1 до 0,5 Гц) в вертикальном направлении, способных вызвать появление укачивания (болезни движения), которые обусловлены закруглениями пути, подъемами пути на виражах, а также отклоняющимися подвесками транспортного средства.

- Настоящий стандарт не распространяется на оценку степени комфортности в отношении низкочастотных (менее 0,5 Гц) ускорений, связанных с действием продольных или поперечных сил, которые обусловлены продольными и поперечными уклонами пути.

- Настоящий стандарт не распространяется на одиночные удары с большой энергией

Учет особенности рельсовых транспортных средств при оценке комфорта пассажиров

- Рельсовые транспортные средства в движении способны производить значительную поступательную и угловую вибрацию, оказывающую влияние на степень комфорта пассажиров.

- С точки зрения комфорта пассажиров рельсовых транспортных средств особо важную роль играют, как правило, колебания в вертикальном и поперечном (относительно движения) направлениях, а также угловая качка. Для стоящих пассажиров и членов бригады наибольшее значение могут иметь продольная и поперечная составляющие вибрации.

- Другие факторы, такие как уровень акустического шума, температура и влажность воздуха, могут усиливать ощущение дискомфорта.

- В процессе поездки пассажиры могут стоять, сидеть, лежать в разных позах относительно транспортного средства, система координат, связанная с телом человека, не всегда удобна для оценки комфорта пассажиров. Рекомендуется проводить измерения преимущественно в точках контакта тела сидящего человека с опорными поверхностями, используя базицентрическую систему координат по ГОСТ 31191.1

- ГОСТ 31191.1 *определяет измерения в точках контакта сиденья и тела человека как предпочтительные, однако это не всегда оправдано для рельсовых транспортных средств, вследствие различия поз пассажиров и совершаемых ими действий.*

Характеристики вибрации рельсовых транспортных средств

Вибрация рельсовых транспортных средств характеризуется:

- случайными поступательными и угловыми ускорениями
- почти периодическими колебаниями, вызванными нестабильностью движения рельсового транспортного средства (раскачиванием), колебаниями подвески, протяженными неравномерностями опорной поверхности, равноудаленными друг от друга стыками пути

- ускорениями почти постоянной амплитуды в поперечном и вертикальном направлениях при движении рельсового транспортного средства по закруглению пути, а также ускорениями почти постоянной амплитуды в продольном направлении при его разгоне или торможении;

- резкими внезапными колебаниями в случае значительных дефектов пути или на стрелках или изменениями уровня почти постоянного ускорения при изменении радиуса закругления пути

Для обычных железнодорожных транспортных средств диапазон частот колебаний, которые могут оказать влияние на степень комфорта пассажиров во время поездки, составляет

- от 0,1 до 2 Гц на закруглениях пути,
- от 0,5 до 10 Гц - для колебаний в продольном и поперечном направлениях
- от 0,5 до 20 Гц - для вертикальной вибрации.



Для сверхскоростных рельсовых транспортных средств (250 км/ч и более), а также для составов с отклоняющейся подвеской может наблюдаться вертикальная составляющая ускорения в диапазоне частот от 0,1 до 0,5 Гц. Такие низкочастотные вертикальные колебания могут стать причиной болезни движения.

На транспортном средстве могут наблюдаться два типа угловых колебаний:

- колебания относительно высокой амплитуды и низкой частоты при въезде на закругленный участок пути и выезде из него;
- повторяющееся раскачивание рельсового транспортного средства из стороны в сторону, обусловленное действием системы "подвеска - опорная поверхность".
- Если подъем пути на виражах значителен или если транспортное средство имеет отклоняющуюся подвеску, угол наклона и скорость его увеличения необходимо учитывать при оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров.
- Длительный крен при поворотах на угол значительно более 24° обычно характерен для путешествий воздушным транспортом. Когда угол наклона увеличивается постепенно и сохраняется длительное время, это не ощущается пассажирами как дискомфорт. Однако если угол наклона быстро увеличивается, а затем уменьшается, то частое повторение таких процессов может привести к развитию болезни движения. Подобные резкие крены имеют место на закруглениях пути. Если скорость рельсового транспортного средства очень высока, наличие на пути участков закругления является для пассажиров потенциальным источником дискомфорта и риска развития болезни движения.
- При оценке влияния на комфорт пассажиров конструкции сидений и спальных мест измерения проводят на поверхностях контакта сидений или спальных мест с телом человека в точках, через которые конструкция рельсового транспортного средства воспринимает вес тела

Таблица: Места контакта тела человека с конструкцией

Положение человека	Место контакта
Стоя	Пол/ноги
Сидя	Опорная поверхность сиденья Спинка сиденья Пол/ноги
Лежа	Опорная поверхность для ягодиц, спины и головы
Примечание - В некоторых случаях может оказаться полезным проведение измерений на подголовниках и подлокотниках для сидящего пассажира, а также в местах контакта ног лежащего пассажира с поверхностью спального места.	

### Анализ вибрации

- ГОСТ 31191.1 устанавливает общее руководство по выбору функций частотной коррекции, которые могут быть использованы для широкого разнообразия конкретных условий воздействия вибрации.

- В соответствии с ГОСТ 31191.1 вибрацию в вертикальном направлении измеряют с использованием функции частотной коррекции  $W_k$ . Альтернативой при оценке степени комфорта на железнодорожном транспорте (см. ГОСТ 31191.1, *примечание к пункту С.2.2.1*) служит функция частотной коррекции  $W_b$ , которая несколько отличается от  $W_k$ .

- В настоящее время функцию частотной коррекции  $W_b$  использует большинство зарубежных железнодорожных компаний развитых стран.

- Постоянный коэффициент для этой функции частотной коррекции используют тот же, что установлен в ГОСТ 31191.1 для  $W_k$ .

- Использование кривых  $W_b$  и  $W_k$  может привести к существенным различиям в оценке.

- В области ниже 8 Гц скорректированная характеристика, полученная на основе  $W_b$ , может быть в 1,25 раза меньше

- В области выше 8 Гц та же характеристика может быть в 1,2 раза больше, чем с использованием  $W_k$ .

### Неопределенность измерений:

- неопределенности, вносимые средствами измерений;
- неопределенности калибровки;
- наличие электрических и других помех;
- влияние крепления акселерометров;
- влияние расположения и ориентации акселерометров;
- неопределенность оценки времени воздействия вибрации;
- отклонение режима работы машины от нормального и изменения в позе оператора, вызванных самой процедурой проведения измерений (например, вследствие неудобств, вызванных размещением акселерометров и соединительных кабелей)
- изменения в способе работы оператора вследствие того, что он является субъектом измерений.

На неопределенность общей оценки воздействия вибрации влияют изменения, наблюдаемые в течение рабочего дня, такие как:

- изменение состояния машины и оборудования (например, изменение давления в шинах под влиянием изменений температуры);
- изменение характеристики дорожного покрытия.

Причины, формирующие общую неопределенность, зависят от характера конкретной рабочей операции. Желательно установить основные источники неопределенности (например, скорость и состояние покрытия) и провести дополнительные измерения с целью вычислить для каждого существенного источника неопределенности соответствующее стандартное отклонение (например, полезным может оказаться проведение измерений для

одной и той же машины на разных скоростях движения и во время движения по дорогам с разным покрытием).

Неопределенность, связанная с измерительным инструментом, калибровкой, электрическими помехами и т.п., обычно мала по сравнению с неопределенностью, связанной с изменением рабочих условий.

При исследовании истории воздействия вибрации на конкретное лицо желательно, по возможности, проводить измерения для машин разных поколений и в разном техническом состоянии.

Если целью измерений является оценка воздействия вибрации, связанной с конкретной рабочей операцией, источником неопределенности могут быть также различия между операторами (в квалификации, телосложении, массе и т.д.).

Неопределенность оценки эквивалентного виброускорения зависит от неопределенности оценки:

- среднеквадратичного значения скорректированного виброускорения;
- длительности вибрационного воздействия.

Оценка эквивалентного виброускорения  $A(8)$  пропорциональна среднеквадратичному значению виброускорения и квадратному корню из длительности воздействия. Поэтому неопределенность, связанная с измерением уровня вибрации, оказывает большее влияние на точность оценки воздействия, чем неопределенность, связанная с оценкой времени воздействия.

Ошибки при измерениях вибрации:

Соединения и экранирование кабеля

- Общей проблемой, с которой приходится сталкиваться при проведении измерений с помощью пьезоэлектрического акселерометра, является сохранение в процессе измерений хорошего соединения акселерометра с сигнальным кабелем. Необходимо убедиться в надежности всех соединений и в отсутствии каких-либо повреждений кабеля. В частности, необходимо проверить, что в месте соединения с акселерометром кабель не подвергается воздействию чрезмерных механических напряжений, возникающих в процессе работы машины.

- Плохое соединение может проявлять себя как простое отсутствие сигнала, что может быть истолковано как отсутствие вибрации на исследуемой поверхности. В случае временных потерь контакта в сигнале будут наблюдаться участки постоянного напряжения, между которыми сигнал имеет обычный вид.

- Плохое экранирование кабеля может вызвать появление паразитных электрических сигналов на характерных частотах электрической сети. Особенно трудно такой тип повреждения выявить при измерении вибрации электрических машин, у которых доминирующая частота вибрации обычно совпадает с частотой тока в электрической сети или кратна ей.

Электромагнитные помехи

➤ Необходимо принять меры, чтобы электрические, магнитные или электромагнитные поля не оказывали влияния на результат измерений вибрации. Если пьезоэлектрический акселерометр используют совместно с согласующим усилителем с высоким входным импедансом, плохое экранирование кабеля может привести к появлению чрезмерно больших составляющих на основных частотах электрической сети.

➤ При наличии емкостной или индуктивной связи между сигналом вибрации и сигналом помехи влияние неизбежных электромагнитных помех может быть уменьшено применением следующих мер:

- экранированием кабелей;
- использованием витых проводов;
- заземлением экранирования сигнального кабеля только с одного конца, обычно со стороны усилителя;
- использованием датчика с выходами, симметричными относительно земли, и дифференциального усилителя;
- недопущением прокладывания сигнального кабеля параллельно кабелям системы питания.

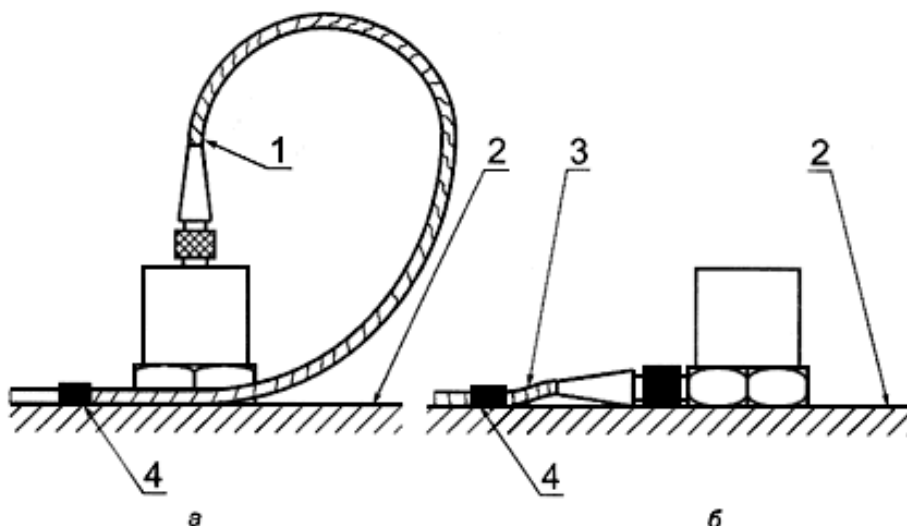
➤ Чтобы избежать появления помех, обусловленных разностью потенциалов между корпусом машины и измерительного прибора (прямая связь между сигналами вибрации и помехи), рекомендуются следующие меры:

- обеспечение электрической изоляции между акселерометром и вибрирующей поверхностью;
- использование изолирующих или дифференциальных усилителей;
- заземление экранирования сигнального кабеля только с одного конца, обычно со стороны усилителя.

• Следует свести до минимума влияние излучения, создаваемого системами связи машин и устройствами зажигания.

- Трибоэлектрический эффект
- Кабели измерительной системы не должны подвергаться воздействию вибрационных напряжений высокой амплитуды, особенно если элементы измерительной системы (например, пьезоакселерометр) имеют большое внутреннее сопротивление, поскольку вызываемые такими напряжениями деформации приводят к появлению паразитных сигналов в электрической цепи. Поэтому рекомендуется надежно закреплять кабели на вибрирующей поверхности вблизи акселерометра (например, с помощью клеящей ленты).

• Для снижения трибоэлектрического эффекта и уменьшения зависимости коэффициента преобразования измерительного тракта от емкости соединительного кабеля рекомендуется применять пьезоакселерометры со встроенными усилителями, имеющие низкоимпедансный электрический выход.



Способы фиксации кабеля для разных типов его соединения с акселерометром

- *a* - осевое соединение кабеля; *б* - радиальное соединение кабеля
  - 1 - отсутствие напряжения; 2 - вибрирующая поверхность;
  - 3 - отсутствие напряжения;
  - 4 - кабель зафиксирован на вибрирующей поверхности
- Высокочастотная вибрация, сдвиг нулевого уровня
  - Временные потери контакта оператора с сиденьем, неплотная фиксация кистевых адаптеров
  - Преждевременное начало времени измерения при переключениях и
  - Случайные удары по акселерометру
  - Высокий коэффициент амплитуды (ударная вибрация)

### КОРРЕКТИРОВАННЫЕ ПО ЧАСТОТЕ УРОВНИ И ЗНАЧЕНИЯ ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

• СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Таблица 1

• ГОСТ 31192.1-2004, ГОСТ 31191.1-2004, ГОСТ 31191.2-2004, ГОСТ 31191.4-2004

Расчет скорректированного уровня  $L(a)_{кор} = 10 \lg \sum 10^{0,1(L(i)+\Delta L(i))}$   
Виброускорение, ось Z, транспортная вибрация

Октавн. полоса (Гц)	Измеренные L(a)(дБ)	Поправка DL(a) (дБ)	$0,1 \times L(i) + DL(i)$	$10^{0,1 \times L(i) - DL(i)}$
1	100	-6	9.4	2511886432
2	106	-3	10.3	19952623150
4	112	0	11.2	158489319246
8	108	0	10.8	63095734448
16	96	-6	9	1000000000
31,5	84	-12	7.2	15848932
63	82	-18	6.4	2511886

Сумма = 245067924094

L(a)кор = 113.9

#### Виброскорость, ось Z, транспортная вибрация

Октавн. полоса (Гц)	Измеренные L(v)(дБ)	Поправка DL(v) (дБ)	$0,1 \times L(i) + DL(i)$	$10^{0,1 \times L(i) - DL(i)}$
1	100	-25	7.5	31622777
2	106	-16	9	1000000000
4	112	-7	10.5	31622776602
8	108	-1	10.7	50118723363
16	96	0	9.6	3981071706
31,5	84	0	8.4	251188643
63	82	0	8.2	158489319

Сумма= 87163872409

L(v)кор= 109.4

Для защиты от вибрации применяют следующие методы: снижение виброактивности машин; отстройка от резонансных частот; вибродемпфирование; виброизоляция; виброгашение, а также индивидуальные средства защиты.

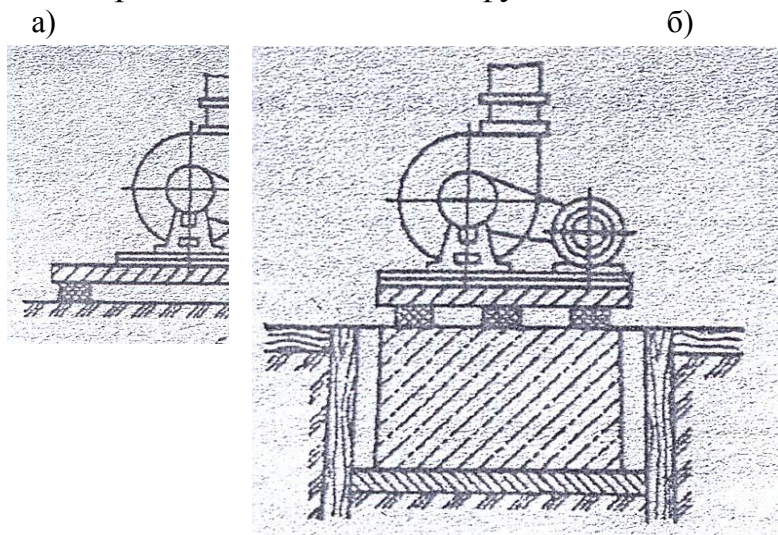
Снижение виброактивности машин (уменьшение  $F_m$ ) достигается изменением технологического процесса, применением машин с такими кинематическими схемами, при которых динамические процессы, вызываемые ударами, ускорениями и т. п., были бы исключены или предельно снижены, например, заменой клепки сваркой; хорошей динамической и статической балансировкой механизмов, смазкой и чистотой

обработки взаимодействующих поверхностей; применением кинематических зацеплений пониженной виброактивности, например, шевронных и косозубых зубчатых колес вместо прямозубых; заменой подшипников качения на подшипники скольжения; применением конструкционных материалов с повышенным внутренним трением.

Отстройка от резонансных частот ( $2\pi f m \neq c/2\pi f$ ) заключается в изменении режимов работы машины и соответственно частоты  $f$  возмущающей вибросилы; собственной частоты колебаний машины путем изменения жесткости системы  $c$  (например, установкой ребер жесткости) или изменения массы  $m$  системы (например, путем закрепления на машине дополнительных масс).

Вибродемпфирование (увеличение  $\mu$ ) — это метод снижения вибрации путем усиления в конструкции процессов трения, рассеивающих колебательную энергию в результате необратимого преобразования ее в теплоту при деформациях, возникающих в материалах, из которых изготовлена конструкция. Вибродемпфирование осуществляется нанесением на вибрирующие поверхности слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение, — мягких покрытий (резина, пенопласт ПХВ-9, мастика ВД17-59, мастика «Антивибрит») и жестких (листовые пластмассы, стеклоизол, гидроизол, листы алюминия); применением поверхностного трения (например, прилегающих друг к другу пластин, как у рессор); установкой специальных демпферов.

Виброгашение (увеличение массы системы  $m$ ) осуществляют путем установки агрегатов на массивный фундамент



Установка агрегатов на виброгасящем основании:

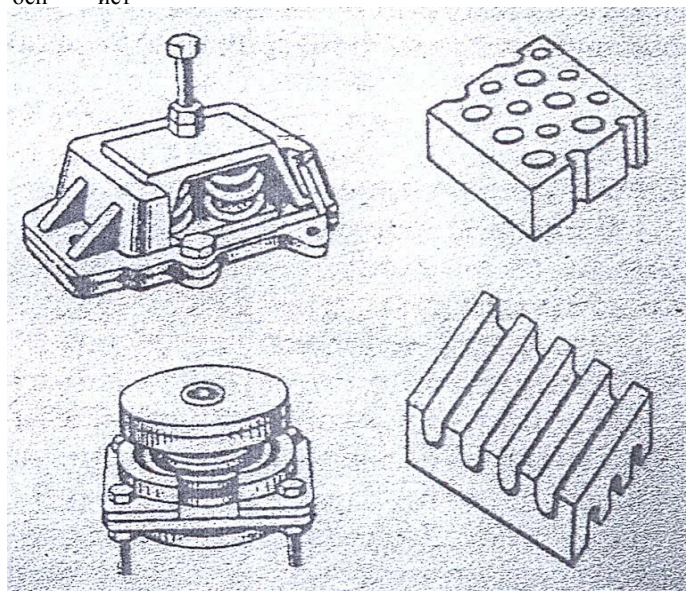
а — на фундаменте и грунте; б — на перекрытии

Виброгашение наиболее эффективно при средних и высоких частотах вибрации. Этот способ нашел широкое применение при установке тяжелого оборудования (молотов, прессов, вентиляторов, насосов и т. п.).

Виброизоляция заключается в уменьшении передачи колебаний от источника к защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых



между ними. Для виброизоляции чаще всего применяют виброизолирующие опоры типа упругих прокладок, пружин или их сочетания. На рисунке изображены типовые конструкции пружинных и резиновых виброизоляторов. Эффективность виброизоляторов оценивают коэффициентом передачи КП, равным отношению амплитуды виброперемещения, виброскорости, виброускорения защищаемого объекта, или действующей на него силы к соответствующему параметру источника вибрации:  $KП = F_{осн} / F_{ист}$ .



а) б)

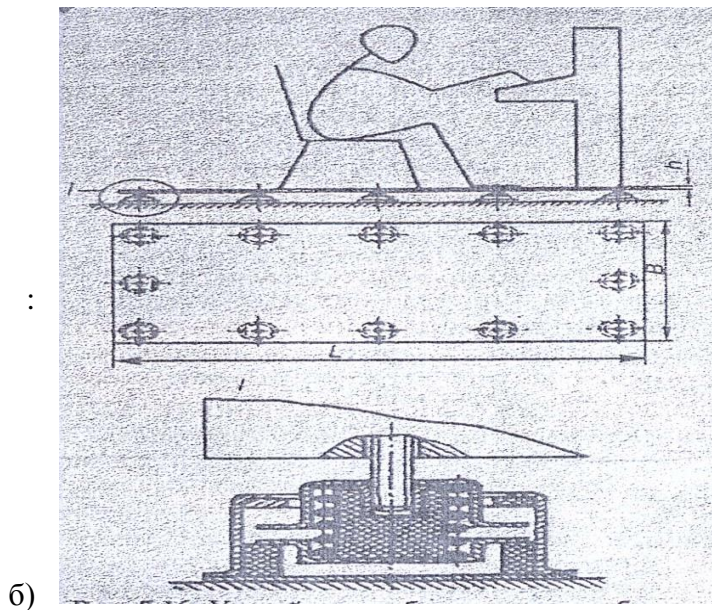
Виброизолирующие опоры:

а — пружинные; б — резиновые виброизоляторы

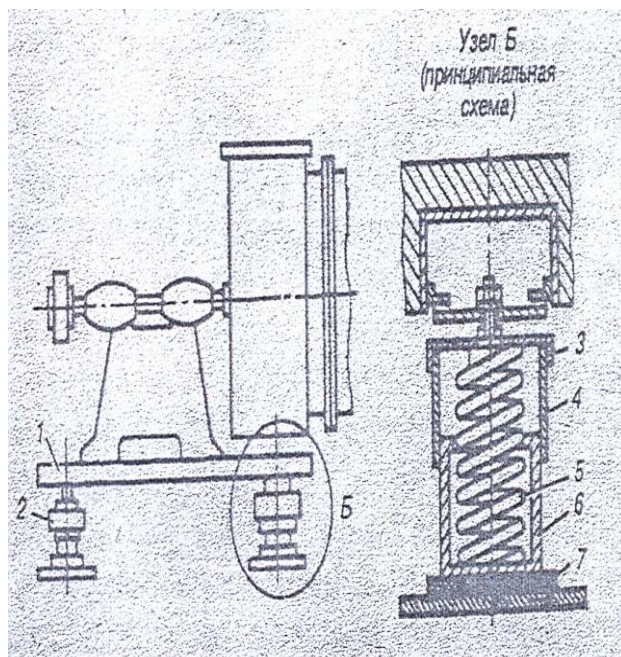
Виброизоляция только в том случае снижает вибрацию, когда  $KП < 1$ . Чем меньше КП, тем эффективнее виброизоляция. Для виброизолированных систем, в которых можно пренебречь трением:  $KП = 1/[(f/f_0)^2 - 1]$ , где  $f$  — частота вынужденных колебаний;  $f_0$  — собственная частота виброизолированной системы. Как видно из приведенной формулы, только при  $f/f_0 > \sqrt{2}$   $KП < 1$ , т. е. снижает передачу вибрации на защищаемый объект. По конструктивным и экономическим соображениям оптимальное значение  $f/f_0 = 3...4$ , что соответствует  $KП = 1/8...1/15$ . Виброизолироваться может источник вибрации или рабочее место персонала, обслуживающего установку — вентиляционной установки.

а) Устройство виброизоляции рабочего места





б)



#### Устройство виброизоляции вентиляционной установки

1—опорная плита; 2 — виброизоляторы; 3 — крышка корпуса; 4 — подвижная часть корпуса; 5 - пружина; 6 — неподвижная часть корпуса; 7 — виброизолирующая прокладка

В качестве СИЗ от вибрации используются: для рук — виброизолирующие рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки; для ног — виброизолирующая обувь, стельки, подметки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы защиты от вредного воздействия вибрации можно разделить на две основные группы:

Методы, основанные на уменьшении интенсивности возбуждающих сил в источнике их возникновения.

Методы ослабления вибрации на путях их распространения через опорные связи от источника к другим машинам и строительным конструкциям.

Если не удастся уменьшить вибрацию в источнике или вибрация является необходимым технологическим

компонентом, то ослабление вибрации достигается применением виброизоляции, виброгасящих оснований, вибропоглощения, динамических гасителей вибрации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Занько Н.Г., Мальян К.Р., Русак О.Н., Безопасность жизнедеятельности, 14-е изд., 2015 г, 627 стр.
2. Под ред. А.А. Попова, Производственная безопасность, 2-е изд, испр., 2013 г, 432 стр.
3. Савин С.Н., Данилов И.Л., Сейсмобезопасность зданий и территорий, 1-е изд., 2015 г, 240 стр.

ТЕКЕЕВ Магомет-Али Эльмурзаевич  
ТЕКЕЕВА Мадина Джетуловна

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ВИБРАЦИИ В  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И НА РАБОЧИХ МЕСТАХ**

Учебно-методическое пособие по курсу  
«Безопасность жизнедеятельности»  
для обучающихся по всем специальностям

Корректор Чагова О.Х.  
Редактор

Сдано в набор 19.09.2024 г.  
Формат 60x84/16  
Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 2,09  
Заказ № 4992  
Тираж 100 экз.

Оригинал-макет подготовлен  
в Библиотечно-издательском центре СКГА  
369000, г. Черкесск, ул. Ставропольская, 36