

БОРОДИН Ю.В.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЁ**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие при работе машин и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия.

Действие вибрации на человека

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы. Мощность колебательного процесса в зоне контакта и время этого контакта являются главными параметрами, определяющими развитие вибрационных патологий, структура которых зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий.

Вибрационная болезнь обусловлена длительным (не менее 3–5 лет) воздействием вибрации в условиях производства. Вибрации делят на локальные (от ручных инструментов) и общие (от станков, оборудования, движущихся машин). Воздействие вибрации встречается во многих профессиях.

Патогенез: хроническая микротравматизация периферических вегетативных образований, периваскулярных сплетений с последующим нарушением кровоснабжения, микроциркуляции, биохимизма и трофики тканей. Клиническая картина характеризуется сочетанием вегетососудистых, чувствительных и трофических расстройств.

Наиболее характерные клинические синдромы: ангиодистонический, ангиоспастический (синдром Рейно), вегетосенсорной полиневропатии. Заболевание развивается медленно, через 5–15 лет от начала работы, связанной с вибрацией, при продолжении ра-

боты заболевание нарастает, после прекращения отмечается медленное (3–10 лет), иногда неполное выздоровление. Условно выделяют 3 степени болезни: начальные проявления (I степень), умеренно выраженные (II степень) и выраженные (III степень) проявления. Характерные жалобы: боли, парестезии, зябкость конечностей, приступы побеления или синюшности пальцев рук при охлаждении, снижение силы в руках. При нарастании заболевания присоединяются головная боль, утомляемость, нарушение сна. При воздействии общей вибрации преобладают жалобы на боль и парестезии в ногах, пояснице, головную боль, головокружения.

Объективные признаки заболевания: гипотермия, гипергидроз и отечность кистей, цианоз или бледность пальцев, приступы «белых» пальцев, возникающие при охлаждении, реже во время работы (см. рис. 1). Сосудистые нарушения проявляются в гипотермии кистей и стоп, спазме или атонии капилляров ногтевого ложа, снижении артериального притока крови к кисти. Могут быть кардиопгии. Обязательным является повышение порогов вибрационной, болевой, температурной, реже тактильной чувствительности. Нарушение чувствительности имеет полиневритический характер. По мере нарастания заболевания выявляется сегментарная гипалгезия, гипапгезия на ногах. Отмечается болезненность мышц конечностей, уплотнение или дряблость отдельных участков.

На рентгенограммах кистей часто выявляются кистевидные просветления, мелкие островки уплотнения или остеопороз. При длительном (15–25 лет) воздействии общей вибрации часто выявляются дегенеративно-дистрофические изменения поясничного отдела позвоночника, осложненные формы поясничного остеохондроза.

Характеристика основных синдромов вибрационной болезни. Периферический ангиодистонический синдром (I степень); жалобы на боль и парестезии в руках, зябкость пальцев. Нерезко выраженные гипотермия, цианоз и гипергидроз кистей, спазмы и атония капилляров ногтевого ложа, умеренное повышение порогов вибрационной и болевой чувствительности, снижение кожной температуры кистей, замедленное восстановление ее после холодной пробы.



Рис. 1. Сосудистые нарушения

Периферический ангиоспастический синдром (синдром Рейно) является патогномичным для воздействия вибрации. Беспокоят приступы побеления пальцев, парестезии. По мере нарастания заболевания побеление распространяется на пальцы обеих рук.

Клиническая картина вне приступов побеления пальцев близка к ангиодистоническому синдрому.

Между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Причину этого явления видят в резонансном эффекте. При повышении частот колебаний более 0,7 Гц возможны резонансные колебания в органах человека. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20–30 Гц, при горизонтальных – 1,5–2 Гц.

Особое значение резонанс приобретает по отношению к органу зрения. Расстройство зрительных восприятий проявляется в частотном диапазоне между 60 и 90 Гц, что

соответствует резонансу глазных яблок. Для органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, резонансными являются частоты 3–3,5 Гц. Для всего тела в положении сидя резонанс наступает на частотах 4–6 Гц. Рассматривая нарушения состояния здоровья при вибрационном воздействии, следует отметить, что частота заболеваний определяется величиной дозы, а особенности клинических проявлений формируются под влиянием спектра вибраций. Выделяют три вида вибрационной патологии от воздействия общей, локальной и толчкообразной вибраций.

При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения – для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения – для полукружных каналов внутреннего уха.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вестибуловегетативная неустойчивость. Нарушение зрительной функции проявляется сужением и выпадением отдельных участков полей зрения, снижением остроты зрения, иногда до 40 %, субъективно – потемнением в глазах. Под влиянием общих вибраций отмечается снижение болевой, тактильной и вибрационной чувствительности. Особенно опасна толчкообразная вибрация, вызывающая микротравмы различных тканей с последующими реактивными изменениями. Общая низкочастотная вибрация оказывает влияние на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного, белкового, ферментного, витаминного и холестерина обмена, биохимических показателей крови.

Вибрационная болезнь от воздействия общей вибрации и толчков регистрируется у водителей транспорта и операторов транспортно-технологических машин и агрегатов, на заводах железобетонных изделий. Для водителей машин, трактористов, бульдозеристов, машинистов экскаваторов, подвергающихся воздействию низкочастотной и толчкообразной вибраций, характерны изменения в пояснично-крестцовом отделе позвоночника. Рабочие часто жалуются на боли в пояснице, конечностях, в области желудка,

на отсутствие аппетита, бессонницу, раздражительность, быструю утомляемость. В целом картина воздействия общей низко- и среднечастотной вибраций выражается общими вегетативными расстройствами с периферическими нарушениями, преимущественно в конечностях, снижением сосудистого тонуса и чувствительности.

Бич современного производства, особенно машиностроения, – локальная вибрация. Локальной вибрации подвергаются главным образом люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью. Одновременно колебания действуют на нервные окончания, мышечные и костные ткани, вызывают снижение кожной чувствительности, отложение солей в суставах пальцев, деформируя и уменьшая подвижность суставов. Колебания низких частот вызывают резкое снижение тонуса капилляров, а высоких частот – спазм сосудов.

Сроки развития периферических расстройств зависят не столько от уровня, сколько от дозы (эквивалентного уровня) вибрации в течение рабочей смены. Преимущественное значение имеет время непрерывного контакта с вибрацией и суммарное время воздействия вибрации за смену. У формовщиков, бурильщиков, заточников, рихтовщиков при среднечастотном спектре вибраций заболевание развивается через 8–10 лет работы. Обслуживание инструмента ударного действия (клепка, обрубка), генерирующим вибрацию среднечастотного диапазона (30–125 Гц), приводит к развитию сосудистых, нервно-мышечных, костно-суставных и других нарушений через 12–15 лет. При локальном воздействии низкочастотной вибрации, особенно при значительном физическом напряжении, рабочие жалуются на ноющие, ломящие, тянущие боли в верхних конечностях, часто по ночам. Одним из постоянных симптомов локального и общего воздействия является расстройство чувствительности. Наиболее резко страдает вибрационная, болевая и температурная чувствительность.

К факторам производственной среды, усугубляющим вредное воздействие вибрации на организм, относятся чрезмерные мышечные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия, особенно пониженная температура, шум высокой интенсивности, пси-

хоэмоциональный стресс. Охлаждение и смачивание рук значительно повышает риск развития вибрационной болезни за счет усиления сосудистых реакций. При совместном действии шума и вибрации наблюдается взаимное усиление эффекта в результате его суммации.

Длительное систематическое воздействие вибрации приводит к развитию вибрационной болезни, которая включена в список профессиональных заболеваний. Эта болезнь диагностируется, как правило, у работающих на производстве. В условиях населенных мест вибрационная болезнь не регистрируется, несмотря на наличие многих источников вибрации (наземный и подземный транспорт, промышленные источники и др.). Лица, подвергающиеся воздействию вибрации окружающей среды, чаще болеют сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями и обычно предъявляют много жалоб общесоматического характера.

Основные параметры вибрации и приборы для их измерения

Основные параметры вибрации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры вибрации

Параметр	Обозначение	Единица измерения
амплитуда колебаний	x_m	м
амплитуда колебательной скорости (виброскорость)	V_m	м/с
амплитуда колебательного ускорения (виброускорения)	a_m	м/с ²
период колебаний	T	с
частота колебаний	f	Гц

В силу специфических свойств органов чувств определяющим при оценке воздействия вибрации являются действующие значения вышеперечисленных параметров. Так действующее значение виброскорости – среднеквадратическое мгновенных значений скорости $V(t)$ за время усреднения t_y , которое выбирают с учетом характера изменения виброскорости во времени:

$$V = \sqrt{\frac{\int_0^{t_y} V^2 dt}{t_y}}. \quad (1)$$

В практике виброакустических исследований весь диапазон частот вибраций разбивают на октавные диапазоны. В октавном диапазоне верхняя граничная частота вдвое больше нижней:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2. \quad (2)$$

Анализ и построение спектров параметров вибрации могут производиться также в третьоктавных полосах частот:

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}. \quad (3)$$

Поскольку абсолютные значения параметров, характеризующих вибрацию, изменяются в очень широких пределах, в практике используют понятие логарифмического уровня колебаний.

Бел (Б) – безразмерная единица измерения отношения двух физических величин по логарифмической шкале. Согласно ГОСТ 8.417–2002 бел определяется как десятичный

логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную.

В виброакустике в качестве исходного используются опорные значения параметров, принятые за начало отсчета. Как правило, уровни виброакустических величин измеряются в дБ (1 децибел = 10 бел). Например, уровень виброскорости будет определяться по формуле:

$$L = 10 \lg \left(\frac{V^2}{V_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{V}{V_0} \right). \quad (4)$$

где V – усредненное значение виброскорости в соответствующей полосе частот; V_0 – опорное значение виброскорости, равное 5×10^{-8} м/с, международная стандартная величина.

Уровень виброускорения определяется выражением:

$$L_a = 20 \lg \left(\frac{a}{a_0} \right), \quad (5)$$

где a_0 – опорное значение виброускорения, равное 1×10^{-6} м/с².

Для измерения вибрации, как правило, применяют приборы, принцип работы которых основан на преобразовании кинематических параметров вибрации в электрические. В настоящее время наибольшее распространение получили емкостные, оптические, индукционные и пьезоэлектрические первичные измерительные преобразователи (датчики). Приборы для измерения параметров вибрации называются виброметрами. На рис. 2 представлены современные отечественные и зарубежные виброметры известных производителей.



Рис. 2. Современные отечественные и зарубежные виброметры

Нормирование вибраций

Вибрации, воздействующие на человека, можно классифицировать по ряду признаков:

1. По способу передачи вибрации на человеческий организм: *общая, локальная*.
2. По характеру спектра:
 - *узкополосные* вибрации, у которых контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает значения в соседних третьоктавных полосах;
 - *широкополосные* вибрации – с непрерывным спектром шириной более одной октавы.
3. По частотному составу:
 - *низкочастотные* вибрации – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц для общих вибраций, 8–16 Гц для локальных вибраций;

- *среднечастотные вибрации* – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 8–16 Гц для общих вибраций, 31,5–63 Гц для локальных вибраций;
- *высокочастотные вибрации* – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 31,5–63 Гц для общих вибраций, 125–1000 Гц для локальных вибраций.

4. По временным характеристикам:

- *постоянные вибрации*, для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;
- *непостоянные вибрации*, для которых величина нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 минут при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:
 - а. колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;
 - б. прерывистые вибрации, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;
 - с. импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

5. По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат.

Направление координатных осей при действии вибрации представлено на рис. 3–5.

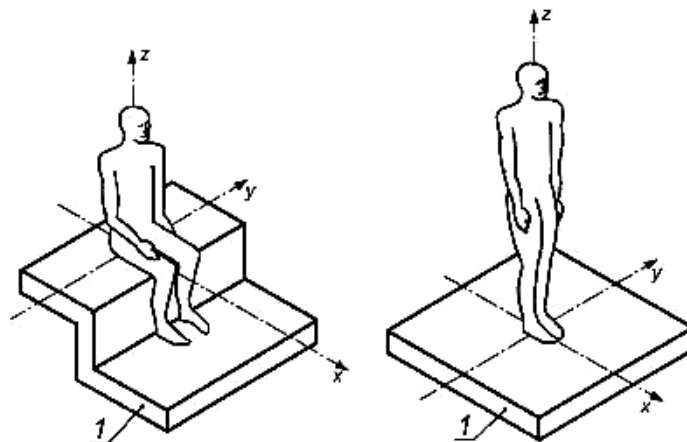


Рис. 3. Направления осей базицентральной системы координат

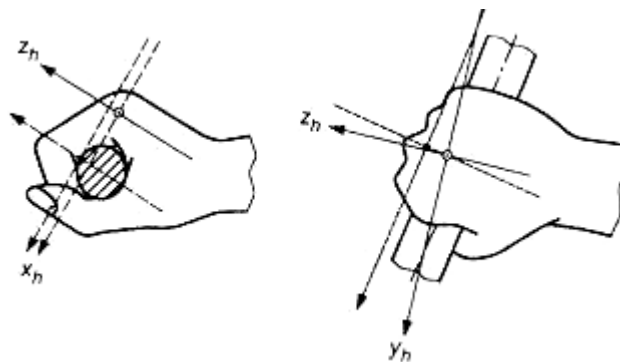


Рис. 4. Направления осей системы координат при положении «сжатая ладонь» (кисть обхватывает цилиндрическую рукоятку)

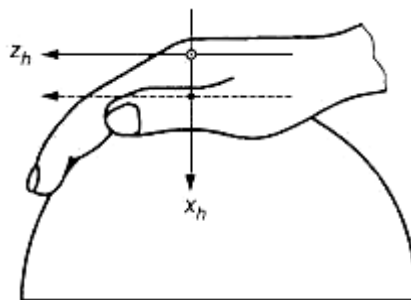


Рис. 5. Направления осей системы координат при положении «прямая ладонь» (кисть нажимает на сферическую поверхность)

Корректированное по частоте значение контролируемого параметра U или его логарифмический уровень L_u определяются по формулам:

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^N (U_i K_i)^2}, \quad (6)$$

$$L_V = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^N 10^{\frac{(L_{U_i} + L_{K_i})}{10}} \right), \quad (7)$$

где V_i и L_{ui} – среднее квадратическое значение контролируемого параметра вибрации (виброскорости или виброускорения) и его логарифмический уровень в i -й полосе; N – число частотных полос в нормируемом диапазоне; K_j и L_{K_i} – весовые коэффициенты для i -й частотной полосы для среднего квадратического значения контролируемого параметра или его логарифмического уровня.

Различают *санитарно-гигиеническое* и *техническое* нормирование. В первом случае производят ограничение параметров вибрации рабочих мест и поверхности контакта с конечностями работающих, исходя из физиологических требований, и снижающих возможность возникновения вибрационной болезни.

Во втором случае осуществляют ограничение параметров вибрации с учетом не только указанных требований, но и технически достижимого на сегодняшний день для данного вида машин уровня вибрации.

Санитарно-гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012–90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Документы устанавливают: классификацию вибраций, методы гигиенической оценки, нормируемые параметры и их допустимые значения, режимы труда лиц виброопасных профессий, подвергающихся воздействию локальной вибрации, требования к обеспечению вибробезопасности и к вибрационным характеристикам машин.

Вибрационная нагрузка на оператора нормируется для каждого направления действия вибрации. Критерий «безопасность» означает ненарушение здоровья оператора, оцениваемого по объективным показателям с учетом риска возникновения предусмотренных медицинской классификацией профессиональной болезни и патологий, а также исключающий возможность возникновения травмоопасных или аварийных ситуаций из-за воздействия вибрации. Критерий «граница снижения производительности труда» означает поддержание нормативной производительности труда оператора, не снижающейся из-за развития усталости под воздействием вибрации. Критерий «комфорт» означает создание условий труда, обеспечивающих оператору ощущение комфортности при полном отсутствии мешающего действия вибрации.

Для общей вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора установлены для категорий вибрации и соответствующих им критериям по табл. 2.

Таблица 2

Категории вибрации и соответствующие им критерии

Категория	Характеристика условий труда	Пример источников вибрации
1 безопасность	Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрофонам и дорогам, в том числе при их строительстве	Тракторы, сельскохозяйственные и промышленные, машины для обработки почвы, уборки и посева сельскохозяйственных культур; автомобили, строительные-дорожные машины, в том числе бульдозеры, скреперы, грейдеры, катки, снегоочистители и т. п.; самоходный горношахтный транспорт

Категория	Характеристика условий труда	Пример источников вибрации
2 граница снижения производительности труда	Транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов машин с ограниченной подвижностью, перемещающихся только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок	Экскаваторы, краны промышленные и строительные, машины для загрузки мартеновских печей; горные комбайны; шахтные погрузочные машины; самоходные бурильные каретки; путевые машины бетоноукладчики; напольный производственный транспорт
3 тип «а» граница снижения производительности труда	Технологическая вибрация, воздействующая на операторов стационарных машин и оборудования или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации	Станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечнопрессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, насосные агрегаты, вентиляторы, буровые станки, оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности, стационарное оборудование сельскохозяйственного производства
3 тип «в» комфорт	Вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом	Диспетчерские, заводоуправления, конструкторские бюро, лаборатории, учебные помещения, вычислительные центры, конторские помещения, здравпункты и т.д.

Методы снижения вибраций и средства защиты

Методы борьбы с вибрацией базируются на анализе уравнений, описывающих колебания машин и агрегатов в производственных условиях. Эти уравнения сложны, т. к. любой вид технологического оборудования (так же как и его отдельные конструктивные элементы) является системой со многими степенями подвижности и обладает рядом резонансных частот.

При гигиенической оценке вибраций нормируемыми параметрами являются средние квадратичные значения виброскорости V (и их логарифмические уровни L_v) или виброускорения для локальных вибраций в октавных полосах частот, а для общей вибрации –

в октавных или третьоктавных полосах. Допускается интегральная оценка вибрации во всем частотном диапазоне нормируемого параметра, в том числе по дозе вибрации с учетом времени воздействия.

Таблица 3

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.

Общая вибрация, категория 1

f, Гц	Нормативные значения виброускорения							
	м/с ²				дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y
0,8	14,12	4,45			129	119		
1,0	10,03	3,57	20,0	6,3	126	117	132	122
1,25	7,13	2,85			123	115		
1,6	4,97	2,29			120	113		
2,0	3,58	1,78	7,1	3,5	117	111	123	117
2,5	2,95	1,78			114	111		
3,15	1,78	1,78			111	111		
4,0	1,25	1,78	2,5	3,2	108	111	114	116
5,0	1,00	1,78			106	111		
6,3	0,80	1,78			104	111		
8,0	0,64	1,78	1,3	3,2	102	111	108	116
10,0	0,64	1,78			102	111		
12,5	0,64	1,78			102	111		
16,0	0,64	1,78	1,2	3,2	102	111	107	116
20,0	0,64	1,78			102	111		
25,0	0,64	1,78			102	111		
31,5	0,64	1,78	1,1	3,2	102	111	107	116
40,0	0,64	1,78			102	111		
50,0	0,64	1,78			102	111		
63,0	0,64	1,78	1,1	3,2	102	111	107	116
80,0	0,64	1,78			102	111		

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.

Общая вибрация, категория 2

f, Гц	Нормативные значения виброускорения							
	м/с ²				дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y
0,8	0,71	0,224			117	107		
1,0	0,63	0,224	1,10	0,39	116	107	121	112
1,25	0,56	0,224			115	107		
1,6	0,50	0,224			114	107		
2,0	0,45	0,224	0,79	0,42	113	107	118	113
2,5	0,40	0,280			112	109		
3,15	0,355	0,365			111	111		
4,0	0,315	0,450	0,57	0,8	110	113	115	118
5,0	0,315	0,56			110	115		
6,3	0,315	0,710			110	117		
8,0	0,315	0,900	0,6	1,62	110	119	116	124
10,0	0,40	1,12			112	121		
12,5	0,50	1,40			114	123		
16,0	0,63	1,80	1,13	3,2	116	125	121	130
20,0	0,80	2,24			118	127		
25,0	1,0	2,80			120	129		
31,5	1,25	3,55	2,25	6,4	122	131	127	136
40,0	1,60	4,50			124	133		
50,0	2,00	5,60			126	135		
63,0	2,50	7,10	4,5	12,8	128	137	133	142
80,0	3,15	9,00			130	139		

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.

Общая вибрация, категория 3, тип «а»

f , Гц	Нормативные значения виброускорения							
	м/с ²				дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y
1,6	0,09		99		0,9		105	
2,0	0,08	0,14	98	103	0,64	1,3	102	108
2,5	0,071		97		0,46		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,1	95	100	0,23	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,11	95	101	0,12	0,22	87	93
10,0	0,071		97		0,12		87	
12,5	0,09		99		0,12		87	
16,0	0,112	0,20	101	106	0,12	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,12		87	
25,0	0,18		105		0,12		87	
31,5	0,22	0,40	107	112	0,12	0,20	87	92
40,0	0,285		109		0,12		87	
50,0	0,355		111		0,12		87	
63,0	0,445	0,80	113	118	0,12	0,20	87	92
80,0	0,56		115		0,12		87	

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.

Общая вибрация, категория 3, тип «в»

<i>f</i> , Гц	Нормативные значения виброускорения							
	м/с ²				дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y
1,6	0,0125		82		0,13		88	
2,0	0,0112	0,02	81	86	0,09	0,018	85	91
2,5	0,01		80		0,063		82	
3,15	0,009		79		0,045		79	
4,0	0,008	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,008		78		0,025		74	
6,3	0,008		78		0,02		72	
8,0	0,008	0,014	78	83	0,016	0,032	70	75
10,0	0,01		80		0,016		70	
12,5	0,0125		82		0,016		70	
16,0	0,016	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,02		86		0,016		70	
25,0	0,025		88		0,016		70	
31,5	0,032	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,04		92		0,016		70	
50,0	0,05		94		0,016		70	
63,0	0,063	0,112	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,08		98		0,016		70	

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора.

Локальная вибрация

f , Гц	Нормативные значения в направлениях			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с^2	дБ	10^{-2} м/с	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

Для простоты анализа будем считать, что на систему воздействует переменная возмущающая сила, изменяющаяся по синусоидальному закону. Тогда уравнение колебаний этой системы будет иметь вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \mu \frac{dx}{dt} + qx = F_m e^{j\omega t}, \quad (8)$$

где m – масса системы; q – коэффициент жесткости системы; x – текущее значение вибро смещения; $\frac{dx}{dt}$ – текущее значение виброскорости; $\frac{d^2 x}{dt^2}$ – текущее значение вибро ускорения; F_m – амплитуда вынуждающей силы; ω – угловая частота вынуждающей силы.

Общее решение этого уравнения содержит два слагаемых: первый член соответствует свободным колебаниям системы, которые в данном случае являются затухающим из-за наличия в системе трения; второй – соответствует вынужденным колебаниям.

Выразив вибросмещение в комплексном виде

$$x = x_m e^{j\omega t} \quad (9)$$

и подставив соответствующие значения в формулу (8) найдем выражения для соотношения между амплитудами виброскорости и вынуждающей силы:

$$|V_m| = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + \left(m\omega - \frac{q}{\omega}\right)^2}}. \quad (10)$$

Знаменатель выражения (10) характеризует сопротивление, которое оказывает система вынуждающей переменной силе, и называется полным механическим импедансом колебательной системы. Величина μ составляет активную, а величина $\left(m\omega - \frac{q}{\omega}\right)$ – реактивную часть этого сопротивления.

Реактивное сопротивление равно нулю при резонансе, которому соответствует частота

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{q}{m}}. \quad (11)$$

При этом система оказывает сопротивление вынуждающей силе только за счет активных потерь в системе. Амплитуда колебаний в таком режиме резко увеличивается.

Таким образом, из анализа решения уравнения (8) вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы следует, что основными методами борьбы с вибрацией машин и оборудования являются:

1) снижение вибраций воздействием на источник возбуждения (посредством снижения амплитуды вынуждающих сил F_m);

2) отстройка от режима резонанса путем рационального выбора массы или жесткости колеблющейся системы (изменение m или q);

3) вибродемпфирование – увеличение механического импеданса колеблющихся конструктивных элементов путем увеличения диссипативных сил при колебаниях с частотами, близкими к резонансным;

4) динамическое виброгашение – присоединение к защищаемому объекту систем, реакции которых уменьшают размах вибраций объекта в точках присоединения систем;

5) вибропоглощение – снижение вибрации путем усиления в конструкции процессов внутреннего трения, рассеивающих виброэнергию в результате необратимого преобразования ее в теплоту;

б) виброизоляция – установка между источником вибрации и объектом защиты упругодемпфирующего устройства – виброизолятора – с малым коэффициентом передачи.

Для обеспечения вибрационной безопасности труда разработан комплекс мероприятий и средств защиты. Основными составляющими этого комплекса являются технические методы и средства борьбы с вибрацией в источнике ее возникновения и на путях ее распространения к рабочему месту (или в точке контакта с человеком-оператором), а также организационные мероприятия. Технические методы и средства борьбы с вибрацией главным образом направлены на изменение ее интенсивности, действующей на человека-оператора. Критерием эффективности служит степень достижения нормативов вибрации.

По организационному признаку методы виброзащиты подразделяются на *коллективную* и *индивидуальную* виброзащиту.

По отношению к источнику возбуждения вибрации методы коллективной защиты подразделяются:

- на снижающие параметры вибрации воздействие на источник возбуждения;
- на снижающие параметры вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения к объектам.

По виду реализации методы, снижающие передачу вибрации при контакте оператора с вибрирующим объектом, предусматривают:

- использование дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машины и в строительные конструкции (виброизоляция, динамическое виброгашение);
- изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций;
- использование демпфирующих покрытий;
- антифазную синхронизацию двух или нескольких источников возбуждения вибраций.

Классификация средств защиты от вибрации подробно изложены в ГОСТ 12.1.012–90. «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» и ГОСТ 12.1.046–78. «ССБТ. Методы и средства вибрационной защиты. Классификация».

На рис. 6 представлены широко применяемые средства индивидуальной защиты от вибрации.



Рис. 6. Средства индивидуальной защиты от вибрации

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение следующим понятиям: вибрация, виброскорость, виброускорение, среднегеометрическая полоса частот.
2. Приведите несколько примеров классификаций вибрации.
3. Перечислите основные параметры характеризующие вибрацию.
4. Как нормируют вибрации?
5. К каким последствиям приводит действие вибраций на организм человека?
6. Какие существуют методы снижения вибраций?

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / под ред. Э.А. Арустамова. – 16-е изд., перераб. и доп. – М.: Дашков и К, 2011. – 446 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / под ред. П. Э. Шлендера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Вузовский учебник, 2008. – 304 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: учебник для бакалавров / под ред. Я.Д. Вишнякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 544 с.
4. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник. – М.: Юрайт, 2013. – 682 с.
5. Назаренко О.Б., Амелькович Ю.А. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 177 с.

Internet–ресурсы

1. Электронный курс на платформе Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=182>, вход для студентов ТПУ.
2. Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум: учебное пособие / Ю.А. Амелькович [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m144.pdf>, вход свободный из корпоративной сети ТПУ.
3. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m150.pdf>, вход свободный из корпоративной сети ТПУ.

4. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / А.М. Плахов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m474.pdf>, вход свободный из корпоративной сети ТПУ.
5. Безопасность жизнедеятельности: учебник в электронном формате / под ред. Б.С. Мاستрюкова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/FN/fn-103.pdf>, вход свободный из корпоративной сети ТПУ.
6. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 <http://docs.cntd.ru/document/1200084092>, вход свободный.
7. ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Вибрационная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/4/4659/>, вход свободный.
8. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data1/5/5214/>, вход свободный.