

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247
Ш69

Р е ц е н з е н т – канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» **А. Д. Железняков** (УО «БелГУТ»)

Шатило, С. Н.

Ш69 Исследование производственных вибраций : учеб.-метод. пособие / С. Н. Шатило, С. В. Дорошко, В. В. Карпенко ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – 2-е изд., перераб. и доп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 51 с.
ISBN 978-985-554-051-0

Приведены краткие сведения из теории, описание виброизмерительных приборов и порядок выполнения замеров, методика санитарно-гигиенической оценки производственных вибраций, инженерные решения по снижению уровней вибраций.

Предназначено для выполнения лабораторной работы по курсу «Охрана труда» и самостоятельного изучения дисциплины студентами всех специальностей всех форм обучения.

УДК 658.345 (075.8)
ББК 65.247

ISBN 978-985-554-051-0

© Андреев В. К., Рязанов А. Н., 1982
© Шатило С. Н., Дорошко С. В.,
Карпенко В. В., 2012, с изменениями.
© Оформление. УО «БелГУТ», 2012

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Общие сведения

Источниками вибраций на промышленных предприятиях и предприятиях железнодорожного транспорта являются многие технологические процессы: укладка бетонных смесей, формовка железобетонных изделий на виброплощадках, вибропрокатный метод производства крупнопанельных изделий, подбивка шпал электрошпалоподбойками и т. д. Интенсивные вибрации возникают на фундаментах машин, настилах, перекрытиях бетоносмесительных узлов и на вибромашинах; создаются компрессорами, стендами для испытания насосов и форсунок, вентиляторами, насосами, генераторами и др. Эти вибрации передаются конструкциями через фундаменты и пол, соприкасающийся с фундаментом. Интенсивные вибрации возникают при работах ручного механизированного инструмента, а также в подвижном составе железных дорог.

Цель пособия – ознакомить студентов с характеристиками и основными параметрами, виброизмерительной аппаратурой, порядком выполнения замеров параметров вибрации и методикой санитарно-гигиенической оценки производственных вибраций, основами разработки мероприятий по их снижению.

В учебно-методическом пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Вибрация – механические колебания и волны в твердых телах. Вибрация конструкций и сооружений, инструментов, оборудования и машин может приводить к снижению производительности труда вследствие утомления работающих, оказывать раздражающее и травмирующее действие на организм человека, служить причиной вибрационной болезни.

Допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях – уровень параметра вибрации, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию.

Корректированный по частоте уровень параметра вибрации L_v , дБ – одночисловая характеристика вибрации, непосредственно измеряемая с

применением виброметров с корректирующими фильтрами или определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных (третьоктавных) полосах с учетом октавных (третьоктавных) весовых коэффициентов (поправок):

$$L_U = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n \cdot 10^{0,1(L_{U_i} + \Delta L_{U_i})}, \quad (1)$$

где L_U – корректированный по частоте уровень параметра вибрации, дБ;

L_{U_i} – октавные (третьоктавные) уровни параметра вибрации, дБ;

ΔL_{U_i} – октавные (третьоктавные) весовые поправки, дБ;

i – порядковый номер октавной (третьоктавной) полосы;

n – число октавных (третьоктавных) полос.

Значения октавных и третьоктавных весовых коэффициентов (поправок) для общей и локальной вибрации принимаются согласно таблицам А.3 и А.4 приложения А.

Локальная вибрация – вибрация, передающаяся через руки человека, воздействующая на ноги сидящего человека или предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями.

Общая вибрация – вибрация, передающаяся через опорные поверхности на тело стоящего или сидящего человека.

Октавная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации – уровень параметра вибрации, при котором ежедневная (кроме выходных дней) работа, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ вибрации не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Среднегеометрическая частота – квадратный корень из произведения граничных частот полосы.

Третьоктавная полоса частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 21/3.

Фоновая вибрация – вибрация, регистрируемая в точке измерения и не связанная с исследуемым источником.

Эквивалентный (по энергии) корректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации $L_{U_{эв}}$, дБ – это корректированный уровень параметра постоянной вибрации, которая имеет такое же среднее квадратическое корректированное значение параметра, что и данная непостоянная вибрация в течение определенного интервала времени (время наблюдения).

Эквивалентный корректированный уровень $L_{U_{\text{экв}}}$ измеряется с применением интегрирующих виброметров или рассчитывается по формуле (3) на основании эквивалентных уровней $L_{U_{i_{\text{экв}}}}$, измеренных в октавных (третьоктавных) полосах частот.

Эквивалентный (по энергии) корректированный по частоте уровень параметра непостоянной вибрации за время оценки $L_{U_{\text{экв}T}}$, дБ – это корректированный уровень параметра вибрации с учетом времени воздействия вибрации в течение рабочей смены:

$$L_{U_{\text{экв}T}} = 10 \cdot \lg \left[(1/T) \sum_{i=1}^n \cdot 10^{0,1 \cdot L_{U_{i_{\text{экв}}}} t_i} \right], \quad (2)$$

где $L_{U_{i_{\text{экв}}}}$ – эквивалентный корректированный частоте уровень параметра вибрации за время t_i , дБ;

t_i – время воздействия вибрации с уровнем $L_{U_{i_{\text{экв}}}}$, ч;

n – общее число интервалов действия вибрации за смену;

$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ – суммарное время воздействия (оценки) вибрации за смену.

Расчет эквивалентных корректированных уровней вибрации производится согласно таблицам А.5, А.6 приложения А.

1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда при работе с виброизмерительной аппаратурой и ознакомленные с данным методическим пособием.

Выполнение работы одним студентом в лаборатории не допускается.

Включение приборов и экспериментальной установки производится после проверки преподавателем правильности сборки и подключения их к сети.

Аппаратура и применяемые при проверках приборы и оборудование должны быть тщательно заземлены.

Не допускается производить переключение в приборах, не предусмотренное порядком выполнения работы.

1.3 Характеристика и основные параметры вибраций

По способу передачи на человека вибрация подразделяется:

– **н а о б щ и у ю** – передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;

– **л о к а л ь н у ю** – передающуюся через руки человека.

О б щ а я вибрация в зависимости от источника ее возникновения

подразделяется:

– на *вибрацию 1-й категории* – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам

(в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т. д.); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт и др.;

– *2-й категории* – транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок, а также на рабочих местах водителей легковых автомобилей и автобусов. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт, автомобили легковые и автобусы и др.;

– *3-й категории* – технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др. Общая вибрация 3-й категории по месту действия подразделяется на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

б) рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещениях, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) рабочих местах в административных и служебных помещениях заводууправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих

комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

– *вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внешних источников:* городского рельсового транспорта (мелкого заложения и открытые линии метрополитена, трамваи, железнодорожный транспорт) и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок (при эксплуатации гидравлических и механических прессов, строгальных, вырубных и других металлообрабатывающих механизмов, поршневых компрессоров, бетономешалок, дробилок, строительных машин и др.);

– *вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников:* инженерно-технического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, насосные, пылесосы, холодильники, стиральные машины и т. п.), а также встроенных предприятий торговли (холодильное и другое оборудование), предприятий коммунально-бытового обслуживания, котельных и т. д.

Локальная вибрация в зависимости от источника возникновения подразделяется на передающуюся:

– от ручных машин с двигателем или ручного механизированного инструмента;

– органов управления машин и оборудования;

– ручных инструментов без двигателей и обрабатываемых деталей.

По направлению действия вибрация (рисунок 1) подразделяется:

– *на общую*, действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_0 , Y_0 , Z_0 , где X_0 (от спины к груди) и Y_0 (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_0 – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т. п.;

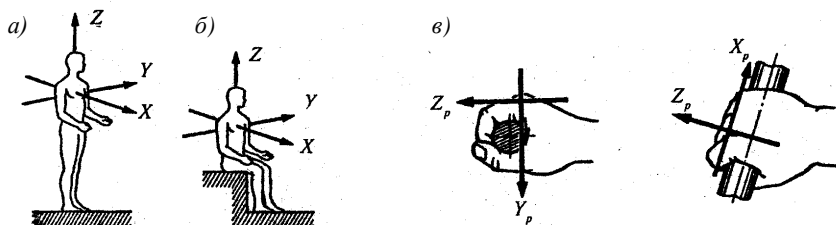


Рисунок 1 – Направление координат осей при общей вибрации (а и б) и локальной (в): а – положение стоя; б – положение сидя; Z – вертикальная ось, перпендикулярная к поверхности; X – горизонтальная ось от спины к груди; ось Y – горизонтальная от правого плеча к левому; при действии локальной вибрации, положение руки на сферической и цилиндрической поверхности

– *локальную*, действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_{л}$, $Y_{л}$, $Z_{л}$, где ось $X_{л}$ совпадает или параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия и т. п.), ось $Y_{л}$ перпендикулярна ладони, а ось $Z_{л}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{л}$ и направлением приложения силы или подачи обрабатываемого (или осью предплечья, когда сила не прикладывается).

По характеру спектра вибрация подразделяется:

– на *узкополосную*, для которой уровень контролируемого параметра в одной 1/3-октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает уровень в соседних 1/3-октавных полосах;

– *широкополосную*, с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По частотному составу вибрация подразделяется:

– на *низкочастотную*, (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1–4 Гц – для общей вибрации, 8–16 Гц – для локальной вибрации);

– *среднечастотную*, (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 8–16 Гц – для общей вибрации, 31,5–63 Гц – для локальной вибрации);

– *высокочастотную*, (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 31,5–63 Гц – для общей вибрации, 125–1000 Гц – для локальной вибрации).

По временным характеристикам вибрация подразделяется:

– на *постоянную*, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с;

– *непостоянную*, для которой величина нормируемых параметров изменяется более чем в 2 раза (6 дБ) за время наблюдения при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

а) колеблющуюся во времени вибрацию, для которой величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистую вибрацию, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

в) импульсную вибрацию, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

Условно все самые сложные вибрации или колебания можно представить как сумму простых, а простейшими из колебаний являются

гармонические колебания, происходящие по синусоидальному закону.

Вибрация может измеряться с помощью как абсолютных, так и относительных параметров. Абсолютными параметрами для измерения вибрации являются вибросмещение, виброскорость и виброускорение.

Параметры связаны между собой следующими соотношениями:

– скорость

$$v = 2\pi f A; \quad (3)$$

– ускорение

$$a = \pi^2 f^2 A, \quad (4)$$

где A – амплитуда вибросмещения, $A = S/2$;

f – частота колебаний, $f = 1/T$;

S – вибросмещение;

T – период колебаний.

В связи с очень широким диапазоном изменения абсолютных параметров вибрации в практике применяются относительные логарифмические уровни параметров. Уровень параметра представляет собой десятичный логарифм отношения абсолютного значения параметра к его первоначальному значению. Основной относительный параметр вибрации – логарифмические уровни виброскорости L_{vi} , дБ в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле

$$L_{vi} = 20 \lg v_i/v_0, \quad (5)$$

где v_i – средние квадратические значения виброскорости в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с;

v_0 – пороговое значение виброскорости, $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Логарифмические уровни виброускорения L_{ai} , дБ в i -й октавной или третьоктавной полосе – уровни, непосредственно измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот или определяемые по формуле

$$L_{ai} = 20 \lg a_i/a_0, \quad (6)$$

где a_i – средние квадратические значения виброускорения в октавных или третьоктавных полосах частот, м/с²;

a_0 – пороговое значение виброускорения, $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

Соотношение между логарифмическими уровнями виброускорения (виброскорости) и их абсолютными значениями определяются по таблицам А.1 и А.2 приложения А.

По способу возбуждения колебания могут быть свободными или вынужденными. Свободные (или собственные) колебания – это такие колебания, которые совершает механическая система, обладающая упругостью и массой, после выведения из состояния равновесия. Характер свободных колебаний (частота, продолжительность) зависит только от

свойств самой системы – массы, упругости, сил затухания. Частота собственных колебаний большинства встречающихся в инженерной практике колебательных систем (без учета затухания) определяется по формуле

$$f_0 = \sqrt{\frac{K}{M}},$$

где K – жесткость системы;

M – масса системы.

В том случае, когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний, возникает резонанс, характеризующийся резким увеличением амплитуды, скорости и ускорения, поэтому резонанс может вызвать быстрый износ или поломку оборудования. Нежелательной также является работа на частотах, кратных собственной частоте

$$f = n f_0,$$

где n – числа натурального ряда.

Чем n ближе к единице, тем больше энергия вибрации. В целях определения резонансных частот, исследуются резонансные характеристики – зависимость амплитуды смещения или скорости вибрации от частоты вынужденных колебаний.

1.4 Воздействие вибрации на организм человека

Степень и характер действия вибрации на организм человека зависят от вида вибрации, ее параметров и направления воздействия.

Общая вибрация вызывает сотрясение всего организма.

Местная вибрация вовлекает в колебательное движение отдельные части тела.

Локальным местным вибрациям подвергаются рабочие с различными видами ручного механизированного инструмента (при зачистке сварных швов, обрубке литья, клепке и т. п.).

Воздействие общих вибраций на организм человека происходит по-разному и зависит от частоты.

Общие вибрации с частотой менее 0,7 Гц (качка), хотя и неприятны, но не приводят к заболеванию. В этом случае тело человека и его отдельные внутренние органы движутся как единое целое, не испытывая взаимных перемещений. Следствием такой вибрации является морская болезнь, происходящая из-за нарушения нормальной деятельности вестибулярного аппарата человека.

Различные внутренние органы и отдельные части тела (например, голову и сердце) условно можно рассматривать, как колебательные системы

с определенной сосредоточенной массой.

В качестве соединительных пружин здесь выступают мышцы, кости и соединительные ткани. Такая система обладает рядом резонансов, частоты которых зависят также от положения тела работающего («стоя» или «сидя»).

Резонанс на частотах 4–6 Гц соответствует колебаниям плечевого пояса, бедер; на частотах 25–30 Гц – головы относительно плеч (положение «сидя»).

Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6–9 Гц.

Колебание рабочих мест с указанными резонансными частотами весьма опасны, т. к. могут вызвать даже механические повреждения и разрыв этих органов. Систематическое воздействие *общих вибраций* в резонансной или околорезонансной частоте может быть причиной вибрационной болезни, при которой происходит перерождение биологических тканей:

- атрофия мышц;
- потеря упругости кровеносных сосудов (становятся ломкими, хрупкими вследствие чего нарушается кровоснабжение);
- потеря подвижности сухожилий (деформация позвоночника);
- потеря чувствительности нервных окончаний, повышенная ломкость волос, ногтей.

Локальная вибрация – действует на организм человека несколько по-другому:

- спазмы сосудов, которые, начинаясь с концевых фаланг пальцев, распространяются на всю кисть, предплечье и охватывают сосуды сердца;
- происходит ухудшение снабжения конечностей кровью.

Одновременно наблюдается воздействие на нервные окончания, мышечные и костные ткани. Это воздействие выражается:

- в нарушении чувствительности кожи;
- окостенении сухожилий мышц;
- болях и отложениях солей в суставах рук.

В конечном итоге происходит деформация и уменьшение подвижности суставов.

1.5 Гигиеническая оценка и нормирование вибраций

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, должна производиться следующими методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Нормируемый диапазон частот измерения вибрации устанавливается:

– для общей производственной вибрации – в октавных (широкополосная вибрация) или 1/3-октавных (узкополосная вибрация) полосах со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц соответственно;

– для локальной производственной вибрации – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;

– для общей вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц.

Нормируемыми параметрами постоянной производственной вибрации являются:

– средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных или третьоктавных полосах частот, или их логарифмические уровни.

– скорректированные по частоте значения виброускорения и виброскорости, или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами непостоянной производственной вибрации являются эквивалентные (по энергии) скорректированные по частоте значения виброускорения и виброскорости, или их логарифмические уровни.

Нормируемыми параметрами постоянной и непостоянной вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях являются средние квадратические значения виброускорения и виброскорости, измеряемые в октавных полосах частот (или их логарифмические уровни) и скорректированные по частоте значения виброускорения и виброскорости (или их логарифмические уровни).

Предельно допустимые величины нормируемых параметров локальной производственной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) устанавливаются согласно таблице А.7 приложения А.

Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими приведенные в таблице А.7 приложения А значения более чем на 12 дБ (4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе частот, не допускается.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров общей производственной вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) устанавливаются согласно таблицам А.8–А.13 приложения А.

Допустимые значения нормируемых параметров вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях устанавливаются согласно таблице А.14 приложения А.

На предприятиях должен осуществляться периодический контроль за состоянием уровней вибраций на рабочих местах в соответствии с

требованиями Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к условиям труда работников и содержанию производственных предприятий», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения 16 июля 2010 г. № 98. При этом перечень мест измерений и периодичность контроля согласовывается с органами и учреждениями, осуществляющими государственный надзор. Периодичность такого контроля и порядок оценки уровней вибраций согласно техническим нормативным правовым актам (ТНПА) приведены в таблице 1.

Методы измерения вибраций на рабочих местах устанавливают стандарты и типовые методики по проведению измерений и гигиенической оценки вибраций на рабочих местах, утвержденные в установленном порядке.

Т а б л и ц а 1 – Периодичность проведения лабораторного контроля за состоянием производственных факторов на рабочих местах

Наименование фактора	Периодичность контроля	Наименование ТНПА
Вибрация (общая и локальная)	Не реже 1 раза в год	ГОСТ 12.1.012–90 «Вибрационная безопасность. Общие требования»; СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-33–2002 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 2002 г. № 159; СанПиН № 2.2.4.13-29–2006 «Допустимые уровни импульсной локальной вибрации», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 22 ноября 2006 г. № 151.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

2.1 Методы измерения вибрации

Существует две группы методов измерения параметров вибрации: контактные, подразумевающие механическую связь датчика с исследуемым объектом, и бесконтактные, т. е. не связанные с объектом механической связью.

Контактные методы. Наиболее простыми являются методы измерения вибрации с помощью пьезоэлектрических датчиков. Они позволяют проводить измерения с высокой точностью в диапазоне низких частот и

относительно больших амплитуд вибрации, но вследствие своей высокой инерционности, приводящей к искажению формы сигнала, делает невозможным измерение вибрации высокой частоты и малой амплитуды. Кроме того, если масса исследуемого объекта, а следовательно и его инерционность не велика, то такой датчик может существенно влиять на характер вибрации, что вносит дополнительную ошибку в измерения.

Эти недостатки позволяет устранить *метод открытого резонатора*. Суть метода заключается в измерении параметров СВЧ-резонатора, изменяющихся вследствие вибрации исследуемого объекта. Резонатор имеет два зеркала, причем одно из них фиксировано, а другое механически связано с исследуемым объектом. Регистрация перемещений при малых амплитудах вибрации производится амплитудным методом по изменению выходной мощности в случае проходной схемы включения резонатора или отраженной мощности, в случае применения оконечного включения. Этот метод измерения требует постоянства мощности, подводимой к резонатору и высокой стабильности частоты возбуждения.

В случае больших амплитуд вибрации регистрируется смещение резонансной частоты, что можно сделать с очень высокой точностью. Для повышения добротности и уменьшения дифракционных потерь используют сферические зеркала. Разрешающая способность данного метода – 3 мкм. Однако механическая связь датчика с исследуемым объектом далеко не всегда допустима, поэтому последние годы основное внимание уделяется разработке бесконтактных методов измерения параметров вибрации. Кроме того, их общим достоинством является отсутствие воздействия на исследуемый объект и пренебрежительно малая инерционность.

Все *бесконтактные методы* измерения вибрации основаны на зондировании объекта звуковыми и электромагнитными волнами.

Одной из последних разработок является *метод ультразвуковой фазометрии*. Он заключается в измерении текущего значения разности фаз опорного сигнала ультразвуковой частоты и сигнала, отраженного от исследуемого объекта. В качестве чувствительных элементов используется пьезоэлектрическая керамика.

На частоте ультразвука 240 кГц чувствительность измерения виброперемещения 10 мкм, расстояние до объекта до 1,5 м. На частоте 32 кГц чувствительность 30 мкм, расстояние до объекта до 2 м. С ростом частоты зондирующего сигнала чувствительность растет.

В качестве достоинств метода можно отметить дешевизну и компактность аппаратуры, малое время измерения, отсутствие ограничения снизу на частотный диапазон, высокую точность измерения низкочастотных вибраций. Недостатками являются сильное затухание ультразвука в воздухе, зависимость от состояния атмосферы, уменьшение точности

измерения с ростом частоты вибрации.

Большое распространение получили методы, основанные на зондировании объекта видимым светом. Все оптические методы подразделяются на две группы. К первой относятся методы, основанные на регистрации эффекта Доплера. Простейшим из них является гомодинный метод, который позволяет измерять амплитуды и фазы гармонических вибраций, но с его помощью невозможно исследовать негармонические и большие по амплитуде вибрации. Эти недостатки можно устранить, используя гетеродинные методы. Но они требуют калибровки и, кроме того, измерительная аппаратура сильно усложняется.

Существенным недостатком перечисленных выше методов являются высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта. Но они теряют свое значение при использовании голографических методов, которые и образуют вторую группу. Голографические методы обладают высокой разрешающей способностью (до 0,05), но они требуют сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, время измерений очень велико.

Общими недостатками оптических методов измерения вибрации являются сложность, громоздкость и высокая стоимость оборудования, большое энергопотребление, высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта, высокие требования к состоянию атмосферы (определенная влажность, отсутствие запыленности и т. п.). Кроме того, лазерное излучение оказывает вредное влияние на зрение обслуживающего персонала и требует дополнительных мер предосторожности и защиты.

Часть этих недостатков можно устранить, применяя методы, основанные на использовании СВЧ-излучения. Они подразделяются на интерференционные и резонаторные. В основе интерференционных методов лежит зондирование исследуемого объекта волнами ВЧ и СВЧ-диапазонов, прием и анализ отраженных (рассеянных) объектом волн. Между излучателем и исследуемым объектом в результате интерференции образуется стоячая волна. Вибрация объекта приводит к амплитудной и фазовой модуляции отраженной волны и к образованию сигнала биений. У выделенного сигнала переменного тока амплитуда пропорциональна виброперемещению, а частота соответствует частоте вибрации объекта.

Резонаторные методы основаны на размещении вибрирующего объекта в поле СВЧ-резонатора (вне или, хотя бы частично, внутри его), вследствие чего изменяются характеристики резонатора. Бесконтактное измерение параметров вибрации резонаторным методом возможно и при включении приемно-передающей антенны в частотозадающую цепь СВЧ-генератора, т. е. при работе в автогенераторном режиме. Такие системы называются автодинными генераторами или просто автодинами.

2.2 Аппаратура, применяемая для исследования производственных вибраций

Современные технологии требуют непрерывного контроля за многими параметрами технологического процесса и контроля состояния оборудования. Одними из важнейших являются параметры механического движения, в частности параметры периодических перемещений исследуемого объекта в пространстве (вибрации). Этими параметрами являются виброперемещение (амплитуда вибрации) и виброскорость (частота вибрации).

Подобный контроль необходим в самых разных областях: в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом), на железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда), в энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин), в авиастроении (контроль биений турбин) и т. д.

2.3 Общие характеристики средств измерений вибраций

Измерительная система включает в себя один или несколько акселерометров (датчиков) для снятия сигналов вибрации вибрирующей поверхности.

Преобразование сигналов вибрации для получения результатов измерений может быть осуществлено с использованием одного прибора – виброметра, имеющего встроенные функции частотной коррекции и интегрирования. Такие приборы специально разрабатывают для измерения вибрации на рабочем месте. Более сложные измерительные системы часто предусматривают выполнение частотного анализа сигнала вибраций в той или иной форме (в узких или третьоктавных полосах частот), а для хранения информации могут быть использованы цифровые и аналоговые устройства записи. Сбор и анализ данных в таких системах могут быть компьютеризованы. Частотный анализ позволяет получить дополнительную информацию о доминирующих частотах и гармониках в спектре вибрации, что может быть полезным при определении мероприятий по снижению действующей вибрации.

Измерительную систему калибруют и проверяют до и после выполнения измерений.

2.4 Низкочастотная виброизмерительная аппаратура НВА-1

Низкочастотная виброизмерительная аппаратура НВА-1 предназначена для измерения виброскорости в октавных полосах частот и используется для измерения установившихся процессов вибрации на машинах, механизмах, сооружениях, средствах транспорта и других объектах.



Рисунок 2 – Общий вид виброметра НВА-1

Аппаратура переносная, с сетевым и автономным питанием, может эксплуатироваться в лабораторных, цеховых и полевых условиях.

Рабочий диапазон измерительных частот – 1,4–355 Гц. При помощи аппаратуры измеряют уровень виброскоростей в октавных полосах частот со средними номинальными частотами: 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250 Гц.

Диапазон измерений уровня виброскорости – 75–130 дБ при нулевом уровне виброскорости, равном $5 \cdot 10^{-15}$ мм/с. Основная абсолютная погрешность измерения не превышает $\pm 1,6$ дБ. Аппаратура имеет выход для подключения через приставку осциллографа Н102, Н107 или Н700.

Постоянная времени показывающего прибора обеспечивает режим работы «быстро» и «медленно».

Питание аппаратуры осуществляется:

- от сети переменного тока напряжением 127/220 В, частотой 50 Гц;
- от встроенного комплекта аккумуляторов напряжением 6 В;
- от внешнего источника постоянного тока напряжением 6 В при потребляемом токе не более 5 А.

Максимальное удаление от измеряемых объектов – до 30 м. Общая масса аппаратуры – не более 60 кг.

Устройство и принцип работы.

Аппаратура состоит из следующих приборов, выполненных отдельными блоками:

- вибропреобразователь Д19;
- усилитель предварительный (предусилитель);
- прибор измерительный;
- октавные фильтры;
- приставка осциллографа.

Принцип работы вибропреобразователя основан на прямом пьезоэффекте. Под действием механических колебаний вдоль продольной оси вибропреобразователя инерционная масса получает ускорение относительно корпуса. Возникающая сила воздействует на пьезоэлемент, подвергая его деформации изгиба. В результате этого на электродах пьезоэлемента

возникают электрические заряды, прямо пропорциональные действующему ускорению. Предусилитель выполнен на прямоугольных шасси. На одном шасси находится разъем для подключения кабеля от вибропреобразователя, на другом – разъем для подключения кабеля от измерительного прибора.

Предусилитель предназначен для согласования измерительного прибора с высокоомным выходным сопротивлением вибропреобразователя, для усиления сигналов, преобразования их в сигналы, пропорциональные виброскорости и для передачи этих сигналов по кабелю.

Прибор измерительный состоит из двух блоков – усилителя и питания, которые соединяются при помощи разъема.

На лицевой панели измерительного прибора находятся следующие переключатели и разъемы: «уровень», «общий», «октавный» – переключатель уровня; «делитель I», «делитель II» – делители напряжения; «скорость», «приведенная скорость» – переключатель рода работ; «быстро», «медленно» – переключатель постоянной времени; «сеть», «аккумулятор» – переключатель рода питания; «заряд» – кнопка для подзарядки аккумуляторов от сети переменного тока; «напряж. аккумулятор» – кнопка для контроля напряжения аккумуляторов; «вход» – разъем для подключения измерительного прибора к предусилителю; «фильтры октавные» – разъем для подключения к выходу измерительного прибора октавных фильтров; «приставка осциллографа» – разъем для подключения к выходу измерительного прибора приставки; «выход» – гнездо для подключения анализирующих и регистрирующих приборов.

Кроме того, на лицевой панели имеются клемма для заземления и отверстие с выведенной под шлиц осью резистора «калибр» для электрической калибровки усилительного тракта аппаратуры. На задней стенке находятся: переключатель напряжения сети 127/220 В; переключатель «контроль аккумулятор – внеш.».

Измерительный прибор служит для усиления электрических сигналов с предусилителя.

В качестве показывающего прибора используется микроамперметр, шкала которого проградуирована в децибелах.

Для анализа вибрации в частотном диапазоне в аппаратуре предусмотрены фильтры октавные, которые выполнены отдельным блоком. На лицевую панель выведены: «частота H_z » – переключатель октавных полос; «питание» – тумблер включения питания; «вход» – разъем для соединений октавных фильтров с измерительным прибором; клемма заземления.

Приставка осциллографа конструктивно выполнена аналогично предусилителю. На торце шасси расположены две клеммы «выход» для подключения осциллографа; выведенная под шлиц ось резистора

«усиление»; разъем для подключения приставки к измерительному прибору.

2.5 Виброметр ВВМ-311

Портативный виброметр ВВМ-311 с цифровым индикатором предназначен для измерения параметров вибрации (виброускорение, виброско-



Рисунок 3 – Общий вид виброметра ВВМ-311

рость, виброперемещение) работающего оборудования, машин и других объектов в лабораторных и производственных условиях. Виброметр ВВМ-311 укомплектован виброизмерительными преобразователями ДН-3-М1 и ДН-4-М1. Прибор имеет встроенные фильтры ФВЧ и ФНЧ с частотами среза 10 и 1000 Гц соответственно, для измерений согласно ISO 2954, а также возможность подключения внешних фильтров.

Для работы в затемненных условиях предусмотрена подсветка цифрового ЖКИ. Прибор выполнен в прямоугольном корпусе и снабжен ремнем для переноса.

Технические характеристики:

Диапазон измерения:

- виброускорения, м/с^2 , – 0,1–1000;
- виброскорости, мм/с , – 0,25–100;
- виброперемещения, мкм , – 1–1000.

Диапазон частот измерения:

- виброускорения, Гц, – 2,8–7000;
- виброскорости и виброперемещения, Гц, – 2,8–700.

Мощность, потребляемая прибором, при питании от 12 элементов А332, не более, ВА, – 0,42.

Габаритные размеры виброметра, мм, – 232 × 65 × 255.

Масса виброметра, не более, кг, – 1,8.

2.6 Виброметр общей и локальной вибрации ОКТАВА-101ВМ

Трехканальный виброметр общей и локальной вибрации ОКТАВА-101ВМ предназначен для измерения вибрации, воздействующей на человека на производстве, в транспорте, в жилых и общественных зданиях. Прибор может также использоваться для измерения вибрационных характеристик

механизмов и машин.

Виброметр ОКТАВА-101ВМ сконструирован с учетом требований российских и международных стандартов и санитарных норм. Он включает в себя:

- три канала измерений. Одновременные измерения вибрации по трем осям (X , Y , Z);

- датчик со встроенным микроусилителем. Снижение собственного шума, исключение наводок и кабельных эффектов (чувствительность не зависит от длины кабеля);

- цифровую обработку сигнала.

Одновременное измерение в реальном времени большого количества параметров, в том числе эквивалентных уровней, в октавах и 1/3-октавах и корректированных по частоте;

- графический индикатор. Данные представлены в табличном и графическом виде;

- пленочную клавиатуру. Долгая служба, защита от пыли и влаги.

- встроенную память. Все текущие результаты измерений можно записать в память прибора одним нажатием кнопки.

Технические характеристики:

Количество каналов – 3.

Тип датчиков – со встроенным усилителем (типа ICP).

Режимы измерения – общая, локальная, анализатор вибрации.

Частотная коррекция:

- общая вибрация – W_d (общая транспортная вибрация X Y), W_k (общая вибрация Z), дополнительные: W_b , W_c , W_e , W_j , W_m (ИСО 8041), линейные: F_k (0,4–100 Гц), F_m (0,8–100 Гц);

- локальная вибрация – W_h , линейная: F_h (6,3–1286 Гц).

Полосовые фильтры:

- общая вибрация – октавные фильтры 1–125 Гц, 1/3 октавные фильтры 0,8–160 Гц (класс 1 по МЭК 61260). Измерения проводятся одновременно во всех полосах частот в реальном времени;

- локальная вибрация – октавные фильтры 8–1000 Гц, 1/3 октавные фильтры 6,3–1250 Гц (класс 1 по МЭК 61260). Измерения проводятся одновременно во всех полосах частот в реальном времени.



Рисунок 4 – Общий вид виброметра ОКТАВА-101ВМ

Измеряемые параметры – скорректированные уровни, дБ, виброускорения – СКЗ, макс, мин, эквивалентные. Уровни виброскорости определяются расчетным путем.

Дисплей – ЖКИ, 128 × 64 точек, с регулированием подсветки и контрастности.

Память – энергонезависимая, 8 Мбайт. Допускается хранение как результатов измерений, так и обычных компьютерных файлов.

Питание – аккумуляторная батарея (4 × LR6) – не менее 8 часов непрерывной работы; от сети 220 В через блок питания (опция).

Масса, не более, кг, – 0,6.

Базовый комплект виброметра ОКТАВА-101ВМ включает в себя измерительно-индикаторный блок, трехкомпонентный вибродатчик AP2038P, два комплекта аккумуляторов, внешнее зарядное устройство, сумку, руководство по эксплуатации, свидетельство о поверке.

2.7 Виброметр ВК-5М

Миниатюрный виброметр ВК-5М предназначен для измерения виброускорения, виброскорости и размаха виброперемещения. Прибор позволяет проводить экспресс-оценку уровня вибрации любого работающего промышленного агрегата.

Виброметр ВК-5М измеряет истинное среднеквадратическое значение виброскорости, размах виброперемещения, амплитуду виброускорения. Имеет маркировку взрывозащиты «Exibll BT6».

В комплект поставки виброметра ВК-5М входит щуп и магнитный держатель. Возможно крепление на шпильке М5. Датчик защищен от перегрузок. Виброметр ВК-5М имеет индикацию разряда батарей. Чехол для переноски, входящий в комплект, создает дополнительные удобства при работе.

Технические характеристики:

Диапазон измерения:

- виброскорости, мм/с, – 0,1–70;
- размахов виброперемещений, мкм, – 1–700;
- виброускорения, g, – 0,1–10.

Диапазон рабочих частот:

- при измерении виброскорости, Гц, – 10–1000;
- при измерении виброперемещений, Гц, – 10–300;
- при измерении виброускорения, Гц, – 10–1000;

Диапазоны рабочих температур:



Рисунок 5 – Общий вид виброметра ВК-5М

- для измерительного блока, °С, – минус 10 плюс 50;
- для вибропреобразователя, °С, – минус 50 плюс 250.

Габаритные размеры:

- измерительного блока, мм, – $125 \times 70 \times 23$;
- вибропреобразователя, мм, – 20×30 .

Питание – батарея 9В (6F22).

Масса виброметра с вибропреобразователем, не более, кг, – 0,2.

3 ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИЙ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

3.1 Порядок проведения замеров параметров вибраций

При измерениях постоянной вибрации общее время измерений должно быть не менее 15 мин, а при измерениях непостоянной вибрации должны быть охвачены все технологические циклы воздействия вибрации. Время измерения вибрации одного интервала (технологического цикла, характерного только для данного действия) должно быть не менее 200 с для обеспечения статистической достоверности результата испытаний.

При испытаниях измеряются средние квадратические значения или их эквивалентные (по энергии) уровни в вертикальном и двух горизонтальных направлениях (продольном и поперечном относительно продольной оси вагона) на сидениях и полу вблизи пятников ВПС (над тележками вагонов) и в центре вагона в пассажирском салоне и служебных помещениях пассажирских вагонов, в пассажирском салоне и кабине машиниста электро- и дизель-поездов, вагонов метрополитена, в пассажирском салоне и кабине водителя трамвайных вагонов, автомотрис магистральных железных дорог.

При измерении средних квадратических значений постоянной вибрации время усреднения выбирается равным 10 с.

Необходимо измерять уровни вибраций также и на полу непосредственно под сидениями около мест их крепления к полу вагонов для определения виброизолирующих свойств сидений.

При разности уровней вибрации 6 дБ и более по направлениям X, Y, Z гигиеническую оценку допускается проводить по одному максимальному направлению.

В зависимости от типов вагонов и вида деятельности обслуживающего персонала и пассажиров вагонов СПС и РС точки проведения исследований могут располагаться в различных местах вагонов, но должны размещаться на полках (сидениях) и полу непосредственно на постоянных или временных рабочих местах обслуживающего персонала в служебных отсеках и местах его отдыха и приема пищи в бытовых отсеках.

Запрещается организовывать отсеки для отдыха и приема пищи непосредственно над тележками вагонов СПС и РС.

При выполнении работ «стоя» вибрация измеряется на полу в месте предполагаемого размещения ног. При выполнении работ «сидя» вибрация дополнительно измеряется на сидениях в месте предполагаемого размещения туловища человека.

В бытовых отсеках вибрация измеряется для положения «сидя» и «стоя» на полу и сидениях, полках (при рассмотрении общей вибрации в положении «лежа» оценку на месте воздействия вибрации проводят по ортогональным осям как для положения «сидя»).

Для определения классности вагонов и при типовых испытаниях вагонов допускается проводить измерение и гигиеническую оценку уровней вибрации только по отраслевой методике измерения и оценки вибраций, но при обязательном условии: измеренные уровни вибрации должны удовлетворять требованиям и ПДУ СанПиН № 2.2.4.13-7–2006.

3.2 Обработка результатов измерений

Результаты измерений оформляются протоколом измерений вибрации.

Протокол должен содержать следующие сведения:

- наименование организации-исполнителя испытаний, ее адрес, контактный телефон, сведения об аттестате аккредитации;
- номер и дату выдачи протокола;
- наименование организации, которой принадлежит испытываемая единица ПС;
- вид и задачи испытаний;
- тип, номер, завод-изготовитель, год выпуска и пробег испытываемой единицы ПС;
- наименование, типы, характеристики используемых средств измерений, а также данные о прохождении государственных поверок средств измерений;
- ссылки на СанПиН и другую документацию, определяющую методику проведения испытаний;
- испытываемые места и места установки вибропреобразователей;
- характеристику участка пути;
- режимы работы вагона и его оборудования, фактическая загрузка вагона;
- составность поезда и положение испытываемых вагонов в составе поезда;
- данные об отклонениях условий испытаний от требований СанПиН № 2.2.4.13-7–2006;
- результаты всех проведенных измерений;
- заключение о результатах испытаний (оценка, краткие выводы,

предположения и т. д.);

- дату и место проведения испытаний;
- фамилию, имя, отчество, должность и подписи специалистов, проводивших испытания.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Исследование вибрации производится на специальном вибростенде (рисунок 6). Источником вибрации является электродвигатель 1 с эксцентрикром 2. Электродвигатель укреплен на виброплощадке 8, которая опирается на сменные амортизаторы 6 (резина, войлок, пружины, надувая резиновая камера и т. д.). Смена амортизаторов 6 производится путем приподнимания виброплощадки 7 с помощью рычажной передачи 5 и винта подъема 4, закрепленных на основании 3.

Смена амортизаторов осуществляется достаточно быстро и не требует больших усилий. Измерение вибраций производится на поверхности основания 3 данного вибростенда.

Перед проведением лабораторной работы преподаватель указывает, какими приборами производить исследование вибраций.

Порядок выполнения лабораторной работы с использованием низкочастотной виброизмерительной аппаратуры НВА-1.

1 При работе от сети необходимо убедиться, что переключатель находится в положении, соответствующем напряжению сети переменного тока 220 или 127 В.

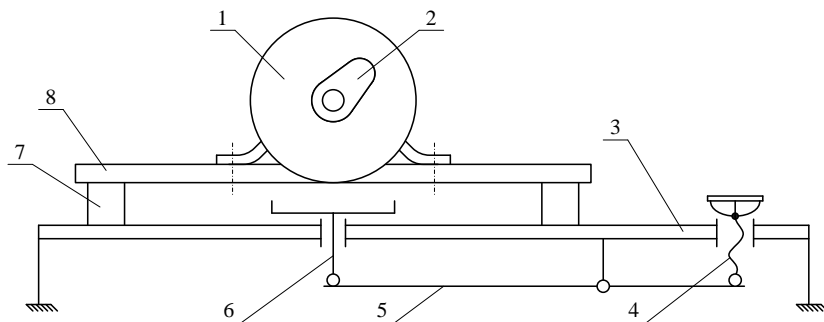


Рисунок 6 – Вибростенд

При подготовке аппаратуры к работе от встроенного источника напряжения производится контроль напряжения аккумуляторов. При нажатой кнопке «напряж. аккум.» переключатель «контроль аккум.» поочередно переводится в положение «1, 2, 3, 4». Стрелка показывающего

прибора аппаратуры каждый раз должна находиться в пределах сектора «аккум.» на шкале. Прогреть аппаратуру в течение 15 минут.

2 При измерении уровня виброскорости переключатели аппаратуры перевести в следующие положения: «уровень» – «октавный» – «скорость» – «привед. скорость» – «скорость»; «делитель I» – 100; «делитель II» – 20; «питание» – включенное; «частота H_z » – в положение, соответствующее предполагаемой полосе частот, или поочередно в положения 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; «быстро-медленно» – «медленно» – при измерениях в полосах частот 2; 4; 8; 16 или «быстро» – при измерениях в полосах частот 31,5; 63; 125; 250.

3 Стрелку показывающего прибора аппаратуры установить в правой части шкалы, изменяя положение переключателей: сначала «делитель I», затем, при необходимости, «делитель II».

Отсчет производится суммированием показаний делителей (верхние черные цифры) и показывающего прибора.

4 При переключении указателя «уровень» из положения «общий» в положение «октавный» и обратно отсчет показаний производится не ранее, чем через 10 с. Отсчет показаний при переводе переключателя «частота H_z » из одного положения в другое производится через 5 с.

Результаты измерений могут быть представлены в виде таблицы или графика.

5 В режиме «общий» и при измерениях со щупом аппарата может использоваться как индикатор для приблизительной оценки уровня виброскорости.

По результатам исследования вибраций студент заполняет протокол наблюдений в журнале лабораторных работ.

В заключительной части лабораторной работы студент должен самостоятельно сравнить полученные результаты исследования вибраций с предельно допустимыми санитарными нормами по СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-33–2002 и дать оценку вредности вибрации, а также эффективности применения разных амортизаторов.

4.1 Расчет виброизоляторов

4.1.1 Виброизоляторы из упругих материалов

В лабораторной работе должен быть также произведен расчет амортизаторов из упругих материалов (для вертикальных колебаний). Необходимо, чтобы частота собственных колебаний f_0 амортизируемого объекта была ниже частоты возмущающей силы.

Частота собственных колебаний системы может быть рассчитана по формуле

$$f_0 = 5 / \sqrt{X_{\text{ст}}}, \quad (7)$$

где $X_{\text{ст}}$ – статическая осадка амортизаторов, м; под действием массы установки $X_{\text{ст}}$ определяется из выражения

$$X_{\text{ст}} = h \sigma / E_D, \quad (8)$$

h – толщина прокладки, м;

σ – допустимое напряжение в прокладке, Н/м²;

E_D – динамический модуль упругости материала, Н/м².

Толщина упругого материала может быть определена по формуле (8).

Площадь S , м², поверхности амортизаторов под установку массой P находится из соотношения

$$S = P / \sigma. \quad (9)$$

Размеры отдельных прокладок определяются исходя из условия равномерного распределения массы на все прокладки.

Для облегчения расчета амортизаторов из упругих прокладок в таблице 2 приведены характеристики некоторых распространенных материалов.

Т а б л и ц а 2 – Допустимое напряжение (σ), модуль упругости (E_D) и допустимая величина статической осадки ($X_{\text{ст}}$)

Материал	σ , Н/м ²	E_D , Н/м ²	E_D / σ	$X_{\text{ст}}$, см
Резина губчатая	$0,3 \cdot 10^5$	$30 \cdot 10^5$	100	$0,01h$
Резина мягкая	$0,8 \cdot 10^5$	$50 \cdot 10^5$	63	$0,016h$
Рибристая резиновая плита или плита с отверстиями	$(0,8-1,0) \cdot 10^5$	$(40-50) \cdot 10^5$	50	$0,02h$
Резина средней жесткости	$(3-4) \cdot 10^5$	$(200-250) \cdot 10^5$	64	$(0,015-0,016)h$

Окончание таблицы 2

Материал	σ , Н/м ²	E_D , Н/м ²	E_D / σ	$X_{ст}$, см
Пробка натуральная	$(1,5-2,0) \cdot 10^5$	$(30-40) \cdot 10^5$	20	$0,05h$
Плита из пробковой крошки	$(0,6-1,0) \cdot 10^5$	$60 \cdot 10^5$	60-100	$(0,01-0,017)h$
Войлок мягкий	$(0,2-0,3) \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^5$	65-100	$(0,01-0,015)h$
Войлок жесткий прессованный	$1,4 \cdot 10^5$	$90 \cdot 10^5$	64	$0,015h$

Примеры расчета виброизоляторов из упругих материалов приведены в приложении Б.

4.1.2 Пружинные виброизоляторы

Расчет пружинных виброизоляторов сводится к определению диаметра прутка пружины d , среднего диаметра пружины D , числа рабочих витков i , высоты пружины в свободном состоянии H_0 , отношения высоты пружины к среднему диаметру H_0/D и жесткости пружины в вертикальном направлении R'_z .

Схема размещения и установки пружинных виброизоляторов должна обеспечить удобство их монтажа, ремонта, замены, а также возможность наблюдения за их состоянием в процессе эксплуатации. Для этого должен быть обеспечен доступ ко всем виброизоляторам.

Виброизоляторы следует располагать в плане таким образом, чтобы их центр жесткости находился на одной вертикали с центром тяжести установки. Это условие выполняется при симметричном расположении в плане одинаковых виброизоляторов относительно центра тяжести установки. При этом все виброизоляторы будут иметь одинаковую статическую осадку.

На практике для виброизоляции производственного оборудования и энергетических установок часто используются стандартные пружины и типовые пружинные виброизоляторы, характеристики которых приведены в каталогах. В этом случае расчет сводится к определению необходимого количества пружинных виброизоляторов n_b ($n_b \geq 4$) для обеспечения требуемой суммарной жесткости виброизоляции K'_z . Число пружинных виброизоляторов n_b в этом случае определяется из условия

$$n_b \leq \frac{K'_z}{K'_z},$$

где K'_z – жесткость одного пружинного виброизолятора.

Длинные пружины при значениях гибкости $H_0/D > 3$ обычно устанавливаются на оправках или монтируются в гильзах. При гибкости $H_0/D > 5$ пружины необходимо составлять из отдельных секций с малой гибкостью ($H_0/D < 3$) поочередно правого и левого углов подъема. В этом случае составные пружины устанавливаются только с направляющими и

соединяются центрирующими кольцами.

Расчет пружинных виброизоляторов

1 Определяется частота вынужденных и собственных колебаний. Частота вынужденных колебаний

$$f_b = \frac{n}{60}, \quad (10)$$

где n – частота вращения, об/мин.

Необходимая эффективность работы амортизаторов обеспечивается при отношении частоты вынужденных колебаний f_b к частоте собственных колебаний f_c , то есть f_b / f_c , в пределах от 3 до 4.

2 Определяется статическая осадка виброизоляторов под действием веса установки $x_{ст}$, см, при которой виброизолированная установка будет иметь полученную частоту собственных колебаний. Вычисляют $x_{ст}$, преобразовав выражение

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{x_{ст}}}. \quad (11)$$

3 Рассчитывается общая жесткость пружин в вертикальном напряжении, Н/м,

$$K_z = m\omega_z^2, \quad (12)$$

где m – масса энергетической установки, кг;

ω_z – круговая частота собственных колебаний в вертикальном направлении, рад/с,

$$\omega_z = \frac{\omega_0}{(f_0 / f_c)},$$

ω_0 – круговая частота вынужденных колебаний, рад/с. Рассчитывается по формуле $\omega_0 = 2\pi N / 60$.

Жесткость одной пружины, Н/мм,

$$K'_z = \frac{K_z}{n},$$

где n – количество виброизоляторов, устанавливается по условию задачи, шт.

4 Определяется статическая нагрузка на одну пружину, Н/м,

$$P'_{ст} = \frac{mg}{n}. \quad (13)$$

5 Находится расчетная нагрузка на одну пружину

$$P' = P'_{ст} + 1,5P'_{дин}, \quad (14)$$

где $P'_{дин}$ – динамическая нагрузка на одну пружину, Н,

$$P'_{дин} = a_{оз} K'_z.$$

6 Рассчитывается диаметр прутка пружины, м,

$$d \geq 1,6 \sqrt{\frac{kPc}{[\tau]}}, \quad (15)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение напряжений в точках сечения прутка, лежащих на поверхности цилиндра диаметром $D - d$ (таблица 3);

c – индекс пружины, принимается в пределах от 4 до 10. Вычисляется из выражения $c = D / d$.

Т а б л и ц а 3 – Зависимость коэффициента k , учитывающего повышение напряжений в сечении пружины, от индекса c при расчете пружинных виброизоляторов

$c = D/d$	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0
k	1,60	1,40	1,30	1,25	1,21	1,18	1,16	1,14	1,12	1,11	1,10

По ГОСТ 13766–86...13776–86 «Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. Основные параметры витков» принять стандартное значение диаметра прутка пружины исходя из вышеприведенного условия.

7 Определяется число рабочих витков пружины и полное число витков пружины.

Число рабочих витков пружины

$$i = \frac{Gd}{8c^3 K_z}, \quad (16)$$

где G – модуль сдвига для материала пружин, МПа.

Полное число витков

$$i_1 = i + i_2,$$

где i_2 – число мертвых витков, принимается 1,5 при $i < 7$ и 2,5 при $i > 7$ на оба торца пружины.

8 Находится высота ненагруженной пружины

$$H_0 = H + i(h - d), \quad (17)$$

где H – высота пружины, сжатой до соприкосновения ее витков предельной нагрузкой, мм,

$$H = (i_1 - 0,5)d;$$

h – шаг пружины,

$$h = d + \frac{x_{ст}^{факт}}{i} + \delta_p,$$

$x_{ст}^{факт}$ – фактическая статическая осадка виброизоляторов под действием веса, см,

$$x_{ст}^{факт} = \frac{P'}{K_z};$$

δ_p – зазор между витками при максимальной рабочей нагрузке, принимается $\delta_p \geq 0,1d$.

9 Рассчитывается необходимое количество пружинных виброамортизаторов для обеспечения прочности

$$n_{необх} \geq \frac{mg}{\frac{\pi d^2 [\tau]}{8kc} - 1,5P'_{дин}}. \quad (18)$$

10 Определяется коэффициент передачи и эффективность виброизоляции. Коэффициент виброизоляции, %,

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{f_b}{f_c}\right)^2 - 1}. \quad (19)$$

Эффективность виброизоляции, дБ,

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{1}{\mu}.$$

Примеры расчета пружинных виброизоляторов приведены в приложении Б.

5 ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Разработка мероприятий по защите от вибраций рабочих мест должна начинаться со стадии проектирования технологических процессов и машин, разработки плана производственного помещения, схем организации работ.

Классификация методов и средств коллективной защиты от вибраций приведена на рисунке 7.

Методы уменьшения вредных вибраций от работающего оборудования можно разделить на следующие основные группы:

1 *Борьба с вибрацией в источнике ее возникновения* заключается в том, что еще на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов предпочтение должно отдаваться таким кинематическим и технологическим схемам, при которых динамические процессы, вызванные ударами, резкими ускорениями и т. п. были бы исключены или предельно снижены:

- замена кулачковых и кривошипно-шатунных механизмов равномерно вращающимися;
- заменаковки и штамповки прессованием;

- замена ударной правки вальцовкой;
- замена пневматической клепки и чеканки гидравлической клепкой и электросваркой;
- для снижения уровня вибраций редукторов применяются шестерни со специальными видами зацепления: глобoidным, шевронным; вместо обычных шестерен применение шестерен с прямым зубом.



Рисунок 7 – Методы и средства коллективной защиты от вибрации

2 Устранение резонансных режимов при работе технологического оборудования может быть осуществлено двумя путями:

- изменением массы (при $\omega > \omega_0$) и жесткости (при $\omega < \omega_0$) системы;
- установлением нового режима работы, т. е. изменением частоты возмущающей силы.

Жесткостные характеристики системы изменяются введением в конструкцию ребер жесткости или изменением ее упругих характеристик.

На рисунке 8 приведены резонансные кривые, показывающие, как изменяются амплитуды скорости и смещения вынужденных колебаний при изменении частоты внешней силы при различных значениях активных потерь в системе.

3 Вибродемпфирование – это уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний

данной колеблющейся системы в другие виды энергии.

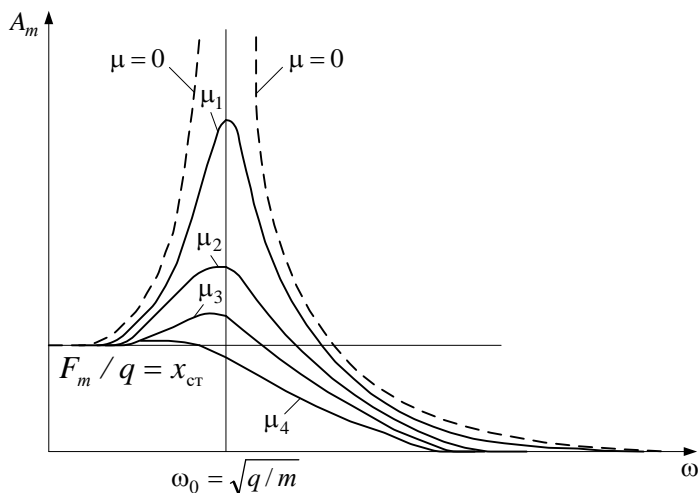


Рисунок 8 – Резонансные кривые амплитуды скорости ($\mu_1 < \mu_2 < \mu_3 < \mu_4$)

Увеличение потерь энергии в системе может осуществляться:

- использованием в качестве конструкционных – материалов с большим внутренним трением (резина, дерево, пластмассы, сплавы);
- нанесением слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение (мастика антивибрит на основе эпоксидной смолы), применяется для покрытия днищ автомобиля;
- использованием поверхностного трения (например, при колебаниях изгиба двух скрепленных и плотно прилегающих друг к другу пластин).

4 *Виброгашение* – уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем введения в систему дополнительных (реактивных импедансов) масс. Виброгашение реализуется путем установки:

- агрегатов на самостоятельные фундаменты. Массу фундамента подбирают таким образом, чтобы амплитуда колебаний подошв фундамента в любом случае не превышала 0,1–0,2 мм;
- виброгасителей.

5 *Виброизоляция* осуществляется посредством введения в колебательную систему упругой дополнительной связи, препятствующей передаче вибрации от машин – источника колебаний – к основанию или смежным элементам конструкции (рисунок 9).

Эффективность виброизоляции оценивается коэффициентом передачи (КП).

$$\text{КП} = F_m / F < 1, \quad (20)$$

где F_m – сила, действующая на основание при наличии упругой связи;

F – сила, действующая на основание при жесткой связи.

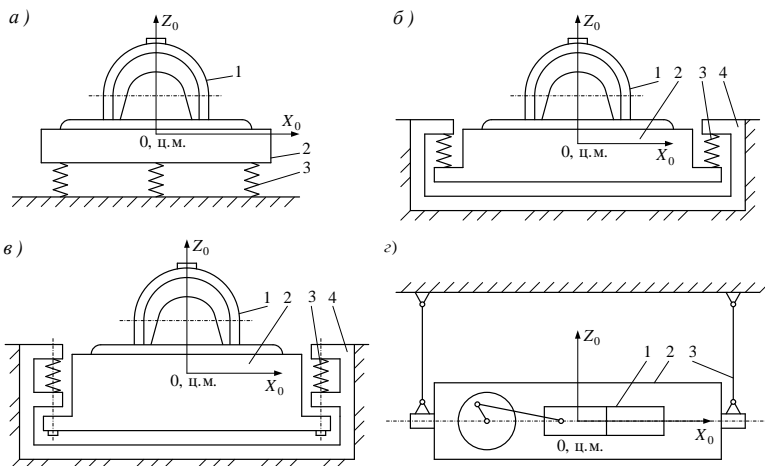


Рисунок 9 – Схемы систем виброизоляции машин:

- а* – опорный вариант; *б* – подвесной вариант с пружинами, работающими на растяжение;
- в* – вариант с подвесными стержнями и пружинами, работающими на сжатие;
- з* – подвесной вариант с шарнирными стержнями; 1 – машина; 2 – фундаментный блок;
- 3 – виброизоляторы; 4 – подфундаментный короб

Если $KП = (1/8 + 1/15)$, то виброизоляция хорошая. Коэффициент передачи

$$KП = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}, \quad (21)$$

где f – частота возбуждающей силы;

f_0 – собственная частота колебаний системы на виброизоляторах.

Виброизоляция

1 Виброизоляция между стационарным оборудованием и фундаментном осуществляется с помощью резиновых прокладок пружин и резинометаллических амортизаторов (рисунок 10).

Пружинные виброизоляторы по сравнению с резиновыми имеют ряд преимуществ: они могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот, дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию масел и высокой температуры, относительно малогабаритны.

Однако они могут пропускать колебания высоких частот, т. к. материал пружин (сталь) имеет малые внутренние потери. Поэтому пружинные виброизоляторы в этом случае рекомендуется устанавливать на прокладки из упругих материалов типа резины (комбинированный амортизатор).

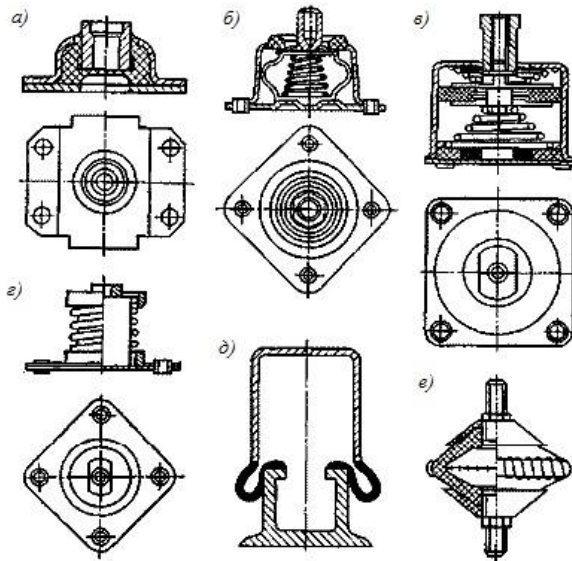


Рисунок 10 – Виброизоляторы:

- a* – резинометаллический типа АКСС с допускаемой нагрузкой до 4000 Н;
- б* – пружинно-резиновый типа АД с пневмодемпфированием; *в* – виброизоляторы типа АПН сильнодемпфированные пластмассовые; *г* – виброизоляторы типа АЦП;
- д* – пневмоамортизаторы; *е* – виброизоляторы типа ДК

2 Акустические швы фундаментов зданий (по примеру здания оставляют пустоты).

3 Виброизоляция фундамента от грунта.

4 Упругие вставки между несущими элементами зданий, перекрытий и конструкций (вентиляторы отделены упругой вставкой от воздуховодов).

5 При работе с ручным механизированным инструментом применяются средства индивидуальной защиты рук от воздействия вибрации.

К индивидуальным средствам защиты относятся:

- виброизолирующие рукавицы или перчатки;
- виброизолирующие прокладки или пластины, которые снабжены креплениями к рукояткам;
- специальная обувь на высокой подошве.

В целях профилактики вибрационной болезни для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется проводить комплекс

профилактических мероприятий:

- водные процедуры;
- массаж;
- лечебная гимнастика;
- витаминизация и др.

При работе с вибрирующим оборудованием в рабочий цикл включаются технологические операции, не связанные с действием вибрации.

Но, если это невозможно – нужно предусмотреть 10–15-минутные перерывы после каждого часа работы.

Неблагоприятные последствия воздействия вибрации усиливаются в холодных условиях. Поэтому в зимнее время рабочих нужно обеспечивать теплыми рукавицами.

Содержание отчета и выводы по работе

Отчет по работе должен включать:

- 1) описание методики и расчетные формулы;
- 2) описание приборов и принципа их действия;
- 3) заполнение протоколов наблюдений по результатам исследования.

Выводы по работе должны включать: сопоставление фактических параметров вибраций с нормативными, выбор мероприятий по их снижению, оценку эффективности принятых мероприятий.

Контрольные вопросы

- 1 Классификация и нормирование вибраций.
- 2 Основные расчетные формулы.
- 3 Приборы для измерения вибрации и принцип их действия.
- 4 Основные методы борьбы с вибрациями.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

**Нормирование производственных вибраций по Санитарным правилам
и нормам № 2.2.4/2.1.8.10-33–2002 «Производственная вибрация,
вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»**

**Т а б л и ц а А.1 – Соотношение между логарифмическими уровнями
виброскорости и ее значениями**

В м/с

Десятки, дБ	Единицы, дБ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$
60	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
70	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$
80	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
90	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
100	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
110	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$
120	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$7,1 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
130	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$4,5 \cdot 10^{-1}$
140	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-1}$	$7,1 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$8,9 \cdot 10^{-1}$	1,0	1,1	1,3	1,4

**Т а б л и ц а А.2 – Соотношение между логарифмическими уровнями вибро-
ускорения и его значениями**

В м/с²

Десятки, дБ	Единицы, дБ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
30	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
40	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$7,6 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
50	$9,5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$
60	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$5,3 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$6,7 \cdot 10^{-1}$	$7,6 \cdot 10^{-1}$	$8,5 \cdot 10^{-1}$
70	$9,5 \cdot 10^{-1}$	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
80	3,0	3,4	3,8	4,2	4,8	5,3	6,0	6,7	7,6	8,5
90	9,5	1,1·10	1,2·10	1,3·10	1,5·10	1,7·10	1,9·10	2,1·10	2,4·10	2,7·10
100	3,0·10	3,4·10	3,8·10	4,2·10	4,8·10	5,3·10	6,0·10	6,7·10	7,6·10	8,5·10
110	9,5·10	1,1·10 ²	1,2·10 ²	1,3·10 ²	1,5·10 ²	1,7·10 ²	1,9·10 ²	2,1·10 ²	2,4·10 ²	2,7·10 ²

Т а б л и ц а А.3 – Значения весовых коэффициентов K_i (поправок ΔL_{Ui}) для общей вибрации*

В дБ

Средне- омет- рические частоты, Гц	Значение весовых коэффициентов (поправок)															
	Виброускорение								Виброскорость							
	1/3 октава				1/1 октава				1/3 октава				1/1 октава			
	Z_0		X_0, Y_0		Z_0		X_0, Y_0		Z_0		X_0, Y_0		Z_0		X_0, Y_0	
	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}	K_i	ΔL_{Ui}
0,8	0,45	-7	1,0	0					0,045	-27	0,4	-8				
1,0	0,5	-6	1,0	0	0,5	-6	1,0	0	0,063	-24	0,5	-6	0,045	-25	0,5	-6
1,25	0,56	-5	1,0	0					0,09	-21	0,63	-4				
1,6	0,63	-4	1,0	0					0,125	-18	0,8	-2				
2,0	0,71	-3	1,0	0	0,71	-3	1,0	0	0,188	-15	1,0	0	0,16	-16	0,9	-1
2,5	0,8	-2	0,8	-2					0,25	-12	1,0	0				
3,15	0,9	-1	0,63	-4					0,35	-9	1,0	0				
4,0	1,0	0	0,5	-6	1,0	0	0,5	-6	0,5	-6	1,0	0	0,45	-7	1,0	0
5,0	1,0	0	0,4	-8					0,63	-4	1,0	0				
6,3	1,0	0	0,315	-10					0,8	-2	1,0	0				
8,0	1,0	0	0,25	-12	1,0	0	0,25	-12	1,0	0	1,0	0	0,9	-1	1,0	0
10,0	0,8	-2	0,2	-14					1,0	0	1,0	0				
12,5	0,63	-4	0,16	-16					1,0	0	1,0	0				
16,0	0,50	-6	0,125	-18	0,5	-6	0,125	-18	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
20,0	0,4	-8	0,1	-20					1,0	0	1,0	0				
25,0	0,315	-10	0,08	-22					1,0	0	1,0	0				
31,5	0,25	-12	0,063	-24	0,25	-12	0,063	-24	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
40,0	0,2	-14	0,05	-26					1,0	0	1,0	0				
50,0	0,16	-16	0,04	-28					1,0	0	1,0	0				
63,0	0,125	-18	0,0315	-30	0,125	-18	0,031	-30	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
80,0	0,1	-20	0,025	-32					1,0	0	1,0	0				

* При оценке общей вибрации категории 2 и 3 значение весовых коэффициентов для направлений X_0, Y_0 принимаются равными значениям для направления Z_0 .

Т а б л и ц а А.4 – Значения весовых коэффициентов K_i , поправок ΔL_{Li} для локальной вибрации

В дБ

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Значение весовых коэффициентов (поправок)			
	Виброускорение		Виброскорость	
	K_i	ΔL_{Li}	K_i	ΔL_{Li}
8	1,0	0	0,5	-6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	-6	1,0	0
63	0,25	-12	1,0	0
125	0,125	-18	1,0	0
250	0,063	-24	1,0	0
500	0,0315	-30	1,0	0
1000	0,0160	-36	1,0	0

При расчете эквивалентного корректированного уровня вибрации (общей или локальной) за время оценки (рабочую смену) для каждого интервала действия вибрации по таблице А.5 определяют поправку в зависимости от продолжительности этого интервала. Определенную таким образом поправку вычитают из измеренного значения уровня вибрации для данного интервала.

Т а б л и ц а А.5 – Поправки к уровню вибрации в зависимости от продолжительности интервала

Продолжительность интервала, мин	480	420	360	300	240	180	120	60	30	15	6
Поправка, дБ	0	0,6	1,2	2,0	3,0	4,3	6,0	9,0	12,0	15,1	19,0

Полученные разности для каждого интервала действия вибрации энергетически суммируются в соответствии с таблицей А.6. Определенный суммарный уровень и будет являться эквивалентным корректированным уровнем вибрации для данной непостоянной вибрации.

Т а б л и ц а А.6 – Значения поправок при энергетическом сложении уровней

В дБ

Разность складываемых уровней	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	14	20
Поправка к более высокому уровню	3,0	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Сложение уровней по таблице А.6 проводят в следующем порядке: по разности двух складываемых уровней определяют поправку и прибавляют ее к более высокому уровню. Аналогичные действия производят с полученной суммой и уровнем вибрации для третьего интервала времени и т. д.

Т а б л и ц а А.7 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_z, Y_z, Z_z			
	Виброускорение		Виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻²	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	76	2,0	112

Т а б л и ц а А.8 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 1 – транспортной

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброускорения							
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z_0	X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0
	м/с ²				дБ			
0,8	0,71	0,224			67	57		
1,0	0,63	0,224	1,12	0,40	66	57	71	62
1,25	0,56	0,224			65	57		
1,6	0,50	0,224			64	57		
2,0	0,45	0,224	0,80	0,40	63	57	68	62
2,5	0,40	0,280			62	59		
3,15	0,355	0,355			61	61		
4,0	0,315	0,450	0,56	0,80	60	63	65	68
5,0	0,315	0,560			60	65		
6,3	0,315	0,710			60	67		
8,0	0,315	0,900	0,56	1,60	60	69	65	74

Окончание таблицы А.8

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброускорения							
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
	м/с ²				дБ			
10,0	0,40	1,12			62	71		
12,5	0,50	1,40			64	73		
16,0	0,63	1,80	1,12	3,15	66	75	71	80
20,0	0,80	2,24			68	77		
25,0	1,00	2,80			70	79		
31,5	1,25	3,55	2,24	6,30	72	81	77	86
40,0	1,60	4,50			74	83		
50,0	2,00	5,60			76	85		
63,0	2,50	7,10	4,50	12,50	78	87	83	92
80,0	3,15	9,00			80	89		
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	–	0,56	0,40	–	–	65	62

Т а б л и ц а А.9 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 1 – транспортной

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости							
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀	Z ₀	X ₀ , Y ₀
	м/с · 10 ⁻²				дБ			
0,8	14,0	4,5			129	119		
1,0	10,0	3,5	20,0	6,3	126	117	132	122
1,25	7,1	2,8			123	115		
1,6	5,0	2,2			120	113		
2,0	3,5	1,8	7,1	3,5	117	111	123	117
2,5	2,5	1,8			114	111		
3,15	1,8	1,8			111	111		
4,0	1,25	1,8	2,5	3,2	108	111	114	116
5,0	1,0	1,8			106	111		
6,3	0,8	1,8			104	111		
8,0	0,63	1,8	1,3	3,2	102	111	108	116
10,0	0,63	1,8			102	111		

Окончание таблицы А.9

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброскорости							
	1/3 октава		1/1 октава		1/3 октава		1/1 октава	
	Z_0	X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0	Z_0, X_0, Y_0	Z_0, X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0
	м/с · 10 ⁻²				дБ			
12,5	0,63	1,8			102	111		
16,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
20,0	0,63	1,8			102	111		
25,0	0,63	1,8			102	111		
31,5	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
40,0	0,63	1,8			102	111		
50,0	0,63	1,8			102	111		
63,0	0,63	1,8	1,1	3,2	102	111	107	116
80,0	0,63	1,8			102	111		
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	–	1,1	3,2	–	–	107	116

Т а б л и ц а А.10 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 2 – транспортно-технологической

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
1,6	0,25		58		2,50		114	
2,0	0,224	0,40	57	62	1,80	3,50	111	117
2,5	0,20		56		1,25		108	
3,15	0,18		55		0,90		105	
4,0	0,16	0,28	54	59	0,63	1,30	102	108
5,0	0,16		54		0,50		100	
6,3	0,16		54		0,40		98	
8,0	0,16	0,28	54	59	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		56		0,32		96	
12,5	0,25		58		0,32		96	
16,0	0,315	0,56	60	65	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		62		0,32		96	
25,0	0,50		64		0,32		96	
31,5	0,63	1,12	66	71	0,32	0,56	96	101

Окончание таблицы А.10

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
40,0	0,80		68		0,32		96	
50,0	1,00		70		0,32		96	
63,0	1,25	2,25	72	77	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		74		0,32		96	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	0,28	–	59	–	0,56	–	101

Т а б л и ц а А.11 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 – технологической типа «а»

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
1,6	0,090		49		0,90		105	
2,0	0,080	0,14	48	53	0,63	1,30	102	108
2,5	0,071		47		0,45		99	
3,15	0,063		46		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	45	50	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		45		0,18		91	
6,3	0,056		45		0,14		87	
8,0	0,056	0,10	45	50	0,11	0,22	87	93
10,0	0,071		47		0,11		87	
12,5	0,090		49		0,11		87	
16,0	0,112	0,20	51	56	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		53		0,11		87	
25,0	0,180		55		0,11		87	
31,5	0,224	0,40	57	62	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		59		0,11		87	
50,0	0,355		61		0,11		87	
63,0	0,450	0,80	63	68	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		65		0,11		87	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	0,10	–	50	–	0,20	–	92

Т а б л и ц а А.12 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 – технологической типа "б"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
1,6	0,0355		41		0,350		97	
2,0	0,0315	0,056	40	45	0,250	0,500	94	100
2,5	0,028		39		0,180		91	
3,15	0,025		38		0,130		88	
4,0	0,0224	0,04	37	42	0,089	0,180	85	91
5,0	0,0224		37		0,072		83	
6,3	0,0224		37		0,056		81	
8,0	0,0224	0,04	37	42	0,0445	0,089	79	85
10,0	0,0281		39		0,0445		79	
12,5	0,0355		41		0,0445		79	
16,0	0,045	0,08	43	48	0,0445	0,079	79	84
20,0	0,056		45		0,0445		79	
25,0	0,071		47		0,0445		79	
31,5	0,09	0,16	49	54	0,0445	0,079	79	84
40,0	0,112		51		0,0445		79	
50,0	0,14		53		0,0445		79	
63,0	0,18	0,32	55	60	0,0445	0,079	79	84
80,0	0,224		57		0,0445		79	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	0,04	–	42	–	0,079	–	84

Т а б л и ц а А.13 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 – технологической типа "в"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
1,6	0,0125		32		0,130		88	
2,0	0,0112	0,020	31	36	0,089	0,180	85	91
2,5	0,010		30		0,063		82	
3,15	0,009		29		0,0445		79	
4,0	0,008	0,014	28	33	0,032	0,063	76	82

Окончание таблицы А.13

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	Виброускорение				Виброскорость			
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
	м/с ²		дБ		м/с · 10 ⁻²		дБ	
5,0	0,008		28		0,025		74	
6,3	0,008		28		0,020		72	
8,0	0,008	0,014	28	33	0,016	0,032	70	76
10,0	0,010		30		0,016		70	
12,5	0,0125		32		0,016		70	
16,0	0,016	0,028	34	39	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0196		36		0,016		70	
25,0	0,025		38		0,016		70	
31,5	0,0315	0,056	40	45	0,016	0,028	70	75
40,0	0,040		42		0,016		70	
50,0	0,050		44		0,016		70	
63,0	0,063	0,112	46	51	0,016	0,028	70	75
80,0	0,08		48		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	–	0,014	–	33	–	0,028	–	75

Т а б л и ц а А.14 – Допустимые значения вибрации в административно-управленческих помещениях и в помещениях общественных зданий

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0			
	Виброускорение		Виброскорость	
	м/с ²	дБ	м/с · 10 ⁻⁴	дБ
2	9,3 · 10 ⁻³	30	7,9	84
4	1,0 · 10 ⁻²	31	4,5	79
8	1,3 · 10 ⁻²	33	2,8	75
16	2,7 · 10 ⁻²	39	2,8	75
31,5	5,3 · 10 ⁻²	45	2,8	75
63	1,1 · 10 ⁻¹	51	2,8	75
Корректированные значения и их уровни	9,3 · 10 ⁻³	30	2,8	75
<i>Примечания</i>				
1. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в таблице А.14, вводится поправка – 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32.				
2. Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек и т. п. вводится поправка – 3 дБ к допустимым значениям уровней, приведенным в таблице А.14.				

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Примеры решения задач по расчету виброизоляции

Пример 1. Произвести расчет пассивной виброизоляции с использованием пружинных виброизоляторов энергетической установки.

Исходные данные:

- масса энергетической установки $m = 470$ кг;
- частота вращения рабочего колеса вентилятора $N = 970$ об/мин;
- число виброизоляторов $n = 6$ шт.;
- допускаемое касательное напряжение при кручении $\tau = 3,8 \cdot 10^2$ МПа;
- модуль сдвига для материала пружин $G = 8,0 \cdot 10^4$ МПа;
- расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки $a_{0z} = 6,0 \cdot 10^{-5}$ м.

Решение. 1 Определяем частоту вынужденных и собственных колебаний. Частота вынужденных колебаний

$$f_b = \frac{n}{60},$$

где n – частота вращения, об/мин,

$$f_b = \frac{970}{60} = 16,2 \text{ Гц.}$$

Необходимая эффективность работы амортизаторов достигается при отношении частоты вынужденных колебаний f_b к частоте собственных колебаний f_c , т. е. f_b / f_c , равном от 3 до 4. Принимаем $f_b / f_c = 4$, тогда

$$f_c = \frac{f_b}{4} = \frac{16,2}{4} = 4,05 \approx 4 \text{ Гц.}$$

2 Определяем статическую осадку виброизоляторов под действием веса установки, при которой виброизолированная установка будет иметь полученную частоту собственных колебаний:

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{x_{ст}}},$$

где $x_{ст}$ – статическая осадка виброизоляторов под действием веса, см.

Преобразовав и подставив исходные данные, вычисляем значение статической осадки

$$x_{ст} = \left(\frac{5}{4}\right)^2 = 1,56 \text{ см} = 15,6 \text{ мм.}$$

3 Общая жесткость пружин в вертикальном напряжении, Н/м,

$$K_z = m\omega_z^2,$$

где ω_z – круговая частота собственных колебаний в вертикальном направлении, рад/с;

$$\omega_z = \frac{\omega_0}{(f_0 / f_c)},$$

ω_0 – круговая частота вынужденных колебаний, рад/с, $\omega_0 = 2\pi N / 60$.

Подставив данные, получим

$$\omega_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 970/60 = 101,5 \text{ рад/с}; \quad \omega_z = 101,5/4 = 25,38 \text{ рад/с.}$$

Жесткость виброизоляции в вертикальном направлении

$$K_z = 470 \cdot 25,38^2 = 30,3 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Жесткость одной пружины

$$K'_z = \frac{K_z}{n} = \frac{30,3 \cdot 10^4}{6} = 5,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

4 Статическая нагрузка на одну пружину

$$P'_{\text{ст}} = \frac{mg}{n} = \frac{470 \cdot 9,81}{6} = 768,5 \text{ Н.}$$

5 Расчетная нагрузка на одну пружину

$$P' = P'_{\text{ст}} + 1,5P'_{\text{дин}},$$

где $P'_{\text{дин}}$ – динамическая нагрузка на одну пружину, Н,

$$P'_{\text{дин}} = a_{\text{оз}} K'_z.$$

После подстановки данных получим

$$P'_{\text{дин}} = 6,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5,05 \cdot 10^4 = 3,1 \text{ Н};$$

$$P' = 768,5 + 1,5 \cdot 3,1 = 773,1 \text{ Н.}$$

6 Диаметр прутка пружины, м,

$$d \geq 1,6 \sqrt{\frac{kP'c}{[\tau]}},$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение напряжений в точках сечения прутка, лежащих на поверхности цилиндра диаметром D – d , определяется по рисунку 5.1 [10];

c – индекс пружины, принимается в пределах от 4 до 10, рассчитывается из условия $c = D / d$.

Задавись значением $c = 6,5$, по графику (рисунок 5.1 [10]) или по таблице 3 устанавливаем $k = 1,225$.

Подставив данные, определим диаметр прутка пружины

$$d \geq 1,6 \sqrt{\frac{1,225 \cdot 773,1 \cdot 6,5}{3,8 \cdot 10^2}} = 6,4 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 13766–86...13776–86 «Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. Основные параметры витков» принимаем стандартное значение диаметра $d = 8$ мм.

Находим средний диаметр пружины по формуле

$$D = cd.$$

Подставив данные, определим средний диаметр пружины:

$$D = 6,5 \cdot 8 = 52 \text{ мм.}$$

7 Число рабочих витков пружины

$$i = \frac{Gd}{8c^3 K_z'},$$

где G – модуль сдвига для материала пружин, МПа.

Подставив значения, вычисляем число рабочих витков пружины

$$i = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 6,5^2 \cdot 5,1 \cdot 10^4} = 5,89; \text{ принимаем } i = 6.$$

Число мертвых витков i_2 принимаем на оба конца пружины в зависимости от полученного значения i . При $i < 7$ $i_2 = 1,5$ и при $i > 7$ $i_2 = 2,5$.

Полное число витков

$$i_1 = i + i_2, \\ i = 6 + 1,5 = 7,5.$$

8 Высота ненагруженной пружины

$$H_0 = H + i(h - d),$$

где H – высота пружины, сжатой до соприкосновения ее витков предельной нагрузкой, мм,

$$H = (i_1 - 0,5)d;$$

h – шаг пружины,

$$h = d + \frac{x_{\text{ст}}^{\text{факт}}}{i} + \delta_p ;$$

$x_{\text{ст}}^{\text{факт}}$ – фактическая статическая осадка виброизоляторов под действием веса, см,

$$x_{\text{ст}}^{\text{факт}} = \frac{P'}{K_z};$$

δ_p – зазор между витками при максимальной рабочей нагрузке, принимается $\delta_p \geq 0,1d$ при максимальной рабочей нагрузке P' .

После подстановки значений будем иметь

$$H = (7,5 - 0,5) \cdot 8 = 56 \text{ мм}; \quad x_{\text{ст}} = 813,1 / (5,1 \cdot 10^4) = 16,5 \text{ мм};$$

$$h = 8 + 16,5 / 6 + 0,3 \cdot 8 = 13,2 \text{ мм.}$$

Высота ненагруженной пружины

$$H_0 = 56 + 6 \cdot (13,2 - 8) = 87,2 \text{ мм.}$$

9 Определяем необходимое количество пружинных виброамортизаторов для обеспечения прочности

$$n_{\text{необх}} \geq \frac{mg}{\frac{\pi d^2 [\tau]}{8kc} - 1,5P'_{\text{дин}}}$$

Подставив значения величин, получим

$$n_{\text{необх}} \geq \frac{470 \cdot 9,81}{\frac{3,14 \cdot 8^2 \cdot 3,8 \cdot 10^2}{8 \cdot 1,225 \cdot 6,5} - 1,5 \cdot 29,7} = \frac{4610,7}{1154,3} = 3,99, \text{ т. е. достаточно } 4.$$

10 Определим коэффициент передачи:

$$\mu = 1 / [(f_b / f_c)^2 - 1] = 1 / [(16,2/4,05)^2 - 1] = 0,067 \text{ \%}.$$

Эффективность виброизоляции

$$\Delta L_{\text{вибр}} = 20 \lg (1 / \mu) = 20 \lg (1 / 0,067) = 20 \lg 14,9 \approx 23,5 \text{ дБ.}$$

11 Согласно расчетам выбрана пружина со следующими параметрами: диаметр прутка – 8 мм, средний диаметр – 52 мм, полное число витков – 7,5, высота в ненагруженном состоянии – 87,2 мм, а также установлено, что по условию обеспечения прочности имеется запас, т. к. необходимое число пружин – 4, а по заданию – 6, при этом коэффициент виброизоляции составил 0,067 % и ее эффективность равна 23 дБ.

Пример 2. Произвести расчет пассивной виброизоляции энергетической установки с использованием виброизоляторов из упругого материала.

Исходные данные:

- масса энергетической установки $m_{\text{уст}} = 270 \text{ кг}$;
- масса железобетонной плиты $m_{\text{пл}} = 310 \text{ кг}$;
- частота вращения рабочего колеса вентилятора $n = 1500 \text{ об/мин}$;
- допустимое напряжение в материале виброизолятора $\sigma = 0,4 \text{ МПа}$;
- динамический модуль упругости $E_D = 20 \text{ МПа}$;
- число виброизоляторов $N = 6 \text{ шт.}$

Решение. 1 Определяем частоту вынужденных и собственных колебаний. Частота вынужденных колебаний

$$f_b = \frac{n}{60},$$

где n – частота вращения, об/мин;

$$f_b = \frac{1500}{60} = 25 \text{ Гц.}$$

2 Определяем частоту собственных колебаний установки на амортизаторах

$$f_o = \frac{5}{\sqrt{X_{ct}}},$$

где X_{ct} – статическая осадка амортизаторов под воздействием веса установки, см,

$$X_{ct} = \frac{h\sigma}{E_D},$$

h – толщина прокладки, см;

σ – допустимое напряжение в материале виброизолятора, МПа;

E_D – динамический модуль упругости материала, МПа.

Задавшись значением толщины прокладки $h = 8$ см, рассчитываем статическую осадку амортизаторов

$$X_{ct} = \frac{8 \cdot 0,4}{20} = 0,16 \text{ см.}$$

Частота собственных колебаний

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{0,16}} = 12,5 \approx 13 \text{ Гц.}$$

Необходимая эффективность работы амортизаторов по условию отсутствия резонанса достигается при отношении частоты вынужденных колебаний f_b к частоте собственных колебаний f_c (f_b / f_c) в диапазоне от 2 до 5. Проверяем условие

$$\frac{f_b}{f_c} = \frac{25}{13} = 1,9.$$

Условие не выполняется, поэтому принимаем значение $h = 0,12$ м и повторяем расчет:

$$X_{ct} = \frac{12 \cdot 0,4}{20} = 0,24 \text{ см; } f_c = \frac{5}{\sqrt{0,24}} = 10,2 \approx 10 \text{ Гц; } \frac{f_b}{f_c} = \frac{25}{10} = 2,5.$$

Условие выполняется, поэтому толщина прокладки принимается окончательно 12 см.

3 Определяем площадь всех виброамортизаторов и их размеры под установку.

Суммарная площадь виброамортизаторов

$$S = P/\sigma,$$

где P – вес установки, МН,

$$P = (m_{\text{пл}} + m_{\text{уст}})g \cdot 10^{-6},$$

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Подставив исходные данные, получим

$$S = (310 + 270) \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} / 0,4 = 0,142 \text{ м}^2.$$

При числе амортизаторов, равном $N = 6$, площадь одного:

$$S_i = S / N = 0,142 / 6 = 0,024 \text{ м}^2.$$

Учитывая, что размеры сторон виброамортизатора не должны превышать его толщину (высоту) в 2–3 раза, принимаем размеры прокладки $0,2 \times 0,12 \text{ м}$ при высоте $0,12 \text{ м}$.

4 Определяем коэффициент виброизоляции, %,

$$K = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{\text{ст}} n^2}.$$

Подставив данные, получим

$$K = 9 \cdot 10^6 / (0,24 \cdot 1500^2) = 16,7 \text{ \%}.$$

5 Согласно расчетам принята резиновая прокладка со следующими параметрами: длина – $0,2 \text{ м}$, ширина – $0,12 \text{ м}$, высота – $0,12 \text{ м}$, при этом коэффициент виброизоляции составил $16,7 \text{ \%}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Бобин, Е. В.** Борьба с шумом и вибрациями на железнодорожном транспорте / Е. В. Бобин. – М. : Транспорт, 1973. – 302 с.
- 2 Борьба с шумом на производстве / В. Я. Юдин [и др.]; под общ. ред. В. Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
- 3 **Иванов, Н. И.** Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах / Н. И. Иванов. – М. : Транспорт, 1979. – 272 с.
- 4 **ГОСТ 31248–2004 (ИСО 10056:2001).** Вибрация. Измерение и анализ общей вибрации, воздействующей на пассажиров и бригаду рельсового транспортного средства; MOD ISO 10056:2001. – Введ. впервые (пост. Госстандарта от 13.03.2009 № 14) 2009-09-01. – Минск, Изд-во стандартов, 2009. – 23 с.
- 5 **ГОСТ 31194.1–2004 (ИСО 13090-1:1998).** Вибрация и удар. Меры безопасности при проведении испытаний с участием людей. Общие требования; MOD ISO 13090:1998. – Введ. впервые (пост. Госстандарта от 13.03.2009 № 14) 2009-09-01. – Минск, Изд-во стандартов, 2009. – 17 с.
- 6 **ГОСТ 31319–2006 (ЕН 14253:2003).** Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах. – Введ. впервые (пост. Госстандарта от 24.06.2006) 2008-07-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 21 с.
- 7 **ГОСТ 31192–2005 (ИСО 5349-2:2003).** Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах. Введ. впервые (пост. Госстандарта от 22.06.2005) 2008-07-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 37 с.
- 8 Охрана труда на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / под ред. Ю. Г. Сибарова. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.
- 9 Охрана труда в машиностроении : учеб. для машиностроительных вузов / под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
- 10 Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1972. – 159 с.
- 11 **СанПиН № 2.2.4/2.1.8.10-33–2002.** Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: утв. пост. главного гос. сан. врача Респ. Беларусь от 31 дек. 2002 г. № 159. – Минск, 2002. – 23 с.
- 12 **СанПиН № 2.2.4.13-7–2006.** Гигиенические требования к контролю и оценке уровней вибрации в вагонах подвижного состава железнодорожного транспорта: утв. пост. главного гос. сан. врача Респ. Беларусь от 05 апр. 2006 г. № 42. – Минск, 2006. – 15 с.
- 13 Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование : справочник / С. В. Белов [и др.]; под общ. ред. С. В. Белова. – М. : Машиностроение, 1989. – 386 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Основные положения	3
1.1 Общие сведения.....	3
1.2 Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.....	5
1.3 Характеристика и основные параметры вибраций.....	5
1.4 Воздействие вибрации на организм человека.....	10
1.5 Гигиеническая оценка и нормирование вибраций.....	11
2 Исследование производственных вибраций	13
2.1 Методы измерения вибрации.....	13
2.2 Аппаратура, применяемая для исследования производственных вибраций.....	16
2.3 Общие характеристики средств измерений вибраций.....	16
2.4 Низкочастотная виброизмерительная аппаратура НВА-1.....	16
2.5 Виброметр ВВМ-311.....	19
2.6 Виброметр общей и локальной вибрации ОКТАВА-101ВМ.....	19
2.7 Виброметр ВК-5М.....	21
3 Измерение вибраций на рабочих местах	22
3.1 Порядок проведения замеров параметров вибраций.....	22
3.2 Обработка результатов измерений.....	23
4 Порядок выполнения лабораторной работы	24
4.1 Расчет виброизоляторов.....	25
4.1.1 Виброизоляторы из упругих материалов.....	25
4.1.2 Пружинные виброизоляторы.....	27
5 Инженерные решения по снижению уровней вибраций в производственных помещениях	30
ПРИЛОЖЕНИЕ А Нормирование производственных вибраций по Санитарным правилам и нормам № 2.2.4/2.1.8.10-33–2002 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Примеры решения задач по расчету виброизоляции.....	45
Список литературы	51

Учебное издание

ШАТИЛО Сергей Николаевич
ДОРОШКО Сергей Владимирович
КАРПЕНКО Валерий Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

Учебно-методическое пособие

Редактор А. А. П а в л ю ч е н к о в а
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а
Корректор Т. А. П у г а ч
Компьютерный набор и верстка – Н. А. Ч е р н ы ш о в а

Подписано в печать 12.04.2012 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 3,08. Тираж 750 экз.
Зак. № Изд. № 7

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330 / 0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330 / 0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.