**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАВА

ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Казань
2012

УДК 534.524.2
ББК 34.41
К 31

ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ: Учебное пособие для самостоятельного изучения и к практическим занятиям для студентов / **С.Г.Кашина**. – Казань: Изд-во Казанского гос. Архитект. – строит.ун-та, 2012. – 133 с.

ISBN–978–5–7829–0370–1

Печатается по решению редакционно-издательского совета КазГАСУ.

Настоящее учебное пособие предназначено для формирования знаний о природе возникновения вибрации, ее характеристиках и негативном воздействии, а также умений по обеспечению защиты от вибрации машин, оборудования, рабочих мест, сооружений. В учебном пособии приведены теоретические основы и практические рекомендации по освоению методик расчета виброзащиты.

Учебное пособие разработано с учетом учебных планов, предусматривающих увеличение объема самостоятельной работы студентов по отношению к аудиторным занятиям. Данное пособие может быть использованы для практических и самостоятельных занятий, а также и при выполнении раздела «Безопасность жизнедеятельности» выпускной квалификационной работы.

Табл. 21 Илл. 33 Библиогр: 38 назв. Приложений 6

Рецензенты:

Заместитель руководителя Государственной инспекции труда – заместитель главного государственного инспектора труда в Республике Татарстан (по охране труда)

И.Г.Мухаметшин;

Кандидат экономических наук, генеральный директор ОАО «Татагропромстрой»

И.М.Закиров

УДК 534.524.2
ББК 34.41

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2012

ISBN –978–5–7829–0370–1

© Кашина С.Г., 2012

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Введение…… 5

1. ВИБРАЦИЯ. ВОЗДЕЙСТВИЕ, НОРМИРОВАНИЕ, ЗАЩИТА…… 6

1.1. Классификация вибраций, воздействующих на человека…….. 6

1.2. Характеристика основных параметров вибрации….. 12

1.3. Воздействие вибрации на организм человека…… 13

1.4. Нормирование вибрации…….. 18

1.5. Методы снижения воздействия вибрации…… 22

1.6. Средства индивидуальной защиты от вибрации…… 29

2. ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ВИБРАЦИИ…….. 34

2.1. Защита от вибрации инженерного оборудования…. 34

2.2. Защита зданий от транспортной вибрации……. 46

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ…… 57

Задача 3.1……. 57

Задача 3.2……. 62

Задача 3.3……. 63

Задача 3.4……. 65

Задача 3.5……. 68

Задача 3.6……. 71

Задача 3.7……. 72

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ…….. 74

Задание 4.1…….. 74

Задание 4.2…….. 78

Задание 4.3…….. 82

Задание 4.4…….. 85

Задание 4.5…….. 85

Задание 4.6…….. 85

Приложение 1. Основные термины и определения…….. 88

Приложение 2. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Физические факторы производственной среды. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Предельно допустимые значения производственной вибрации и допустимые значения вибрации в жилых и общественных зданиях (извлечения)…… 91

стр.

Приложение 3. ГОСТ 12.1.012-2004.Вибрационная безопасность. Общие требования. Occupational safety standards system. Vibration safety. General requirements. Дата введения 2008-07-01 *(извлечения)*…… 98

Приложение 4. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (извлечения)……. 104

Приложение 5. ГОСТ ИСО 8041-2006.Межгосударственный стандарт. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. Дата введения 2008-07-01 (извлечения)…….. 109

Приложение 6. СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена (извлечения)…….. 111

Список источников……. 130

ВВЕДЕНИЕ

Среди достаточно большого количества вредных и опасных факторов, воздействующих на человека, есть такие, с которыми человек сталкивается ежедневно. К таким факторам относятся виброакустические, в число которых входит вибрация.

Эксплуатация современных машин и оборудования сопровождается значительным уровнем виброакустических факторов. Источниками вибрации в жилых и общественных зданиях являются инженерное и санитарно-техническое оборудование, а также промышленные установки и транспорт (метрополитен мелкого заложения, тяжелые грузовые автомобили, железнодорожные поезда, трамваи), создающие при работе большие динамические нагрузки, которые вызывают распространение вибрации в грунте и строительных конструкциях зданий. Вибрации часто являются также причиной возникновения шума в помещениях зданий.

Следовательно, с вибрацией мы встречаемся на рабочих местах в производственных помещениях, на транспорте (автомобили, электрички, метро и пр.), в быту и поэтому необходимо представлять особенности ее вредного воздействия на организм человека, методы и средства защиты от нее.

С точки зрения безопасности труда виброакустические факторы, и в частности, вибрация являются одними из наиболее распространенных вредных производственных факторов. Они занимают 2-ое и 3-ье место среди всех профзаболеваний. В быту более 30% населения больших городов живут в условиях виброакустического дискомфорта. Поэтому требуется усиление экспертизы соответствующих разделов проектной документации на строительство и реконструкцию объектов в части проверки достаточности предусмотренных виброзащитных мероприятий и обеспечения соблюдения требований санитарных нормативов к допустимому вибрационному воздействию.

Вопросы вибрации являются смежными с проблемой уровня шума, но вибрационное воздействие может быть вызвано и иными источниками, нежели шумовое воздействие, как и пути распространения вибраций (следовательно и методы борьбы с ними), могут отличаться от методов борьбы с шумом. Это влечет за собой необходимость самостоятельного регулирования решения проблемы защиты от вредных воздействий вибрации.

1. ВИБРАЦИЯ. ВОЗДЕЙСТВИЕ, НОРМИРОВАНИЕ, ЗАЩИТА

Вибрация - вид механических колебаний, возникающих при передаче телу механической энергии от источника колебаний. Согласно ГОСТ 24346-80 "Вибрация. Термины и определения" вибрацией называют движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты.

Вибрация как фактор производственной среды встречается в различных процессах строительного производства. Она используется в ряде технологических процессов: при виброуплотнении, формовании, прессовании, вибрационном бурении, рыхлении, вибротранспортировке и т.д.

Вибрацией сопровождается работа стационарных и передвижных машин, механизмов и агрегатов, в основу действия которых положено вращательное и возвратно-поступательное движение.

В условиях городской среды интенсивным источником вибраций являются рельсовый городской транспорт (трамвай, метрополитен), железнодорожный транспорт, инженерно-техническое оборудование зданий (лифты, насосные установки), система отопления, канализации, мусоропроводов.

К виброопасному оборудованию относятся клепальные, рубильные, отбойные молотки, бетоноломы, трамбовки, вибраторы, дрели, шлифовальные машины, электропилы и др.

Воздействие вибрации усугубляется интенсивным шумом, возникающим при работе этих машин.

1.1. Классификация вибраций, воздействующих на человека

Воздействие вибрации на человека классифицируют:

- по способу передачи колебаний;
- по источнику возникновения;
- по направлению действия вибрации;
- по характеру спектра;
- по частотному составу.

По способу передачи **на человека различают**:

– ***общую вибрацию,*** передающуюся через опорные поверхности на тело человека.

По ГОСТ 31191.1-2004 «Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования» общая вибрация характеризуется как передаваемая через опорные поверхности на ноги (положение стоя), на ноги, ягодицы и спину (положение сидя) и на все тело в целом (положение лежа), которая может наблюдаться, например, на транспортных средствах, в зданиях и поблизости от работающего оборудования.

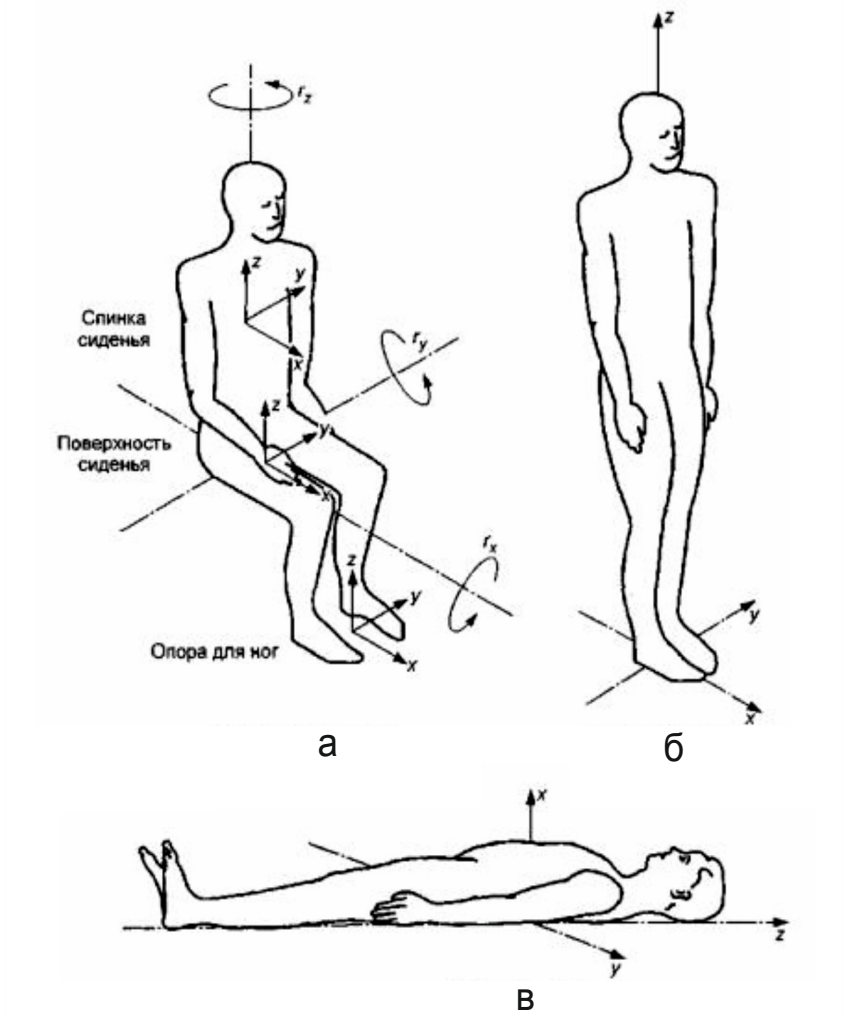
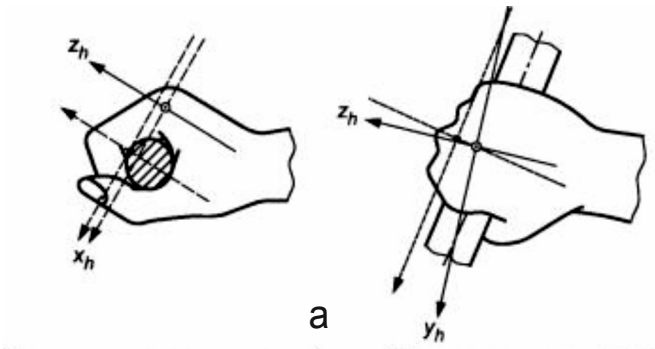


Рис.1.1. Базицентрическая система координат для тела человека: а – положение, сидя, б – положение стоя, в – положение лежа; x, y, z – индексы, используемые для обозначения направления поступательной вибрации. Для угловой вибрации они указывают ось вращения г (вращения вокруг осей x, y и z соответствуют раскачиванию с бока на бок, наклонам вперед и назад и поворотам из стороны в сторону.

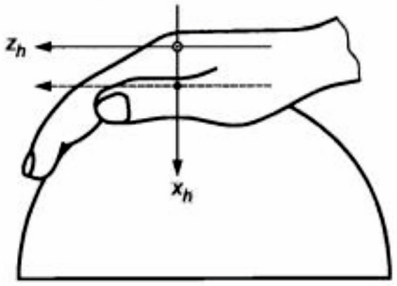
Вибрацию измеряют в направлении осей системы координат с центром в точке контакта тела человека с вибрирующей поверхностью. Основные базицентрические системы координат показаны на рис. 1.1.

В базицентрической системе координат применительно к степени комфорта человека в положении сидя рассматривается общая вибрация в диапазоне частот 0,5 – 80 Гц, действующая на подушке сиденья по шести направлениям (три направления для поступательной вибрации: оси ***x*, *y*** и *z*, – и три направления угловой вибрации r_x, r_y и r_z), а также поступательная вибрация (оси ***x***, ***y*** и ***z***) на спинке сиденья и на поверхности опоры ног сидящего человека (рис. 1.1).

Применительно к степени комфорта человека для положений стоя и лежа рассматривается поступательная вибрация в трех направлениях (оси ***x***, ***y*** и ***z***) на основной опорной поверхности.



а



б

Рис.1.2. Система координат, связанная с кистью руки:
а – положение «сжатая ладонь» (кисть обхватывает цилиндрическую рукоятку); б – положение «плоская ладонь» (кисть нажимает на сферическую поверхность).
Обозначения:
——————— – биодинамическая система координат;
- - - - - - - - - - - - - – базицентрическая система координат.

– ***локальную вибрацию***, передающуюся через руки человека. По ГОСТ 31192.1-2004. (ИСО 5349-1:2001) «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования» Локальную вибрацию следует измерять в направлении осей ортогональной системы координат, как показано на рис.1.2.

Из практических соображений эту систему координат удобно задавать относительно соответствующей базицентрической системы координат (рис.1.2). В случае измерения локальной вибрации положение базицентрической системы координат определяется предметом - обрабатываемой деталью, рукояткой инструмента или рычагом устройства управления, – через который вибрация передается на сжатую кисть. Центром биодинамической системы координат является головка третьей пястной кости. Ось z_h определена как продольная ось третьей пястной кости с положительным направлением в сторону кончика пальца. Ось x_h проходит через начало координат, перпендикулярна к оси z_h и направлена вверх, когда кисть находится в нормальном анатомическом положении (ладонью вверх). Ось y_h перпендикулярна к двум другим осям и положительно направлена в сторону большого пальца. На практике обычно используют базицентрическую систему координат, получаемую вращением системы координат в плоскости (y – z) таким образом, чтобы ось y_h была параллельна оси предмета, удерживаемого кистью руки (например, рукоятки).

Желательно измерять вибрацию во всех трех направлениях одновременно. Допустимо проведение измерений вдоль каждой оси по очереди при условии, что рабочие условия от измерения к измерению остаются неизменными. Измерения следует проводить на вибрирующей поверхности по возможности ближе к центру области обхвата рукой машины, инструмента или обрабатываемой детали. Местоположение датчиков должно быть зафиксировано.

***По источнику возникновения* вибраций различают**:

1) *локальную вибрацию* передающуюся человеку**:**

• от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

• от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;

2) *общую вибрацию*:

• ***1 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, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т.д.); снегоочистители;

• ***2 категории – транспортно-технологическую вибрацию***, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок.

К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

• ***3 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, оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков) и др.

• ***общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внешних источников*** (городского рельсового транспорта и автотранспорта; промышленных предприятий, бетономешалок, дробилок, строительных машин и др.);

• ***общую 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 оборудование), котельных и т.д.

Общую вибрацию категории 3 (технологическую) по месту действия подразделяют на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

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

в) на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда.

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

– ***локальную вибрацию*** подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_л, Y_л, Z_л$ где ось $X_л$ 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 подачи или приложения силы (или осью предплечья, когда сила не прикладывается);

– ***общую вибрацию*** подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_о$, $Y_о, Z_о$ где $X_о$ (от спины к груди) и $Y_о$ (от правого плеча к левому) – горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; $Z_о$ – вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т.п. (рис.1.1).

По характеру спектра вибрации выделяют:

• ***узкополосные вибрации,*** у которых контролируемые параметры в одной 1/3 октавной полосе частот более чем на 15дБ превышают значения в соседних 1/3 октавных полосах;

• ***широкополосные вибрации*** – с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

***По частотному составу вибрации* выделяют:**

• ***низкочастотные вибрации*** (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1 – 4Гц для общих вибраций, 8 – 16Гц – для локальных вибраций);

• ***среднечастотные вибрации*** (8 – 16Гц – для общих вибраций, 31,5 – 63Гц – для локальных вибраций);

• ***высокочастотные вибрации*** (31,5 – 63Гц – для общих вибраций, 125 – 1000Гц – для локальных вибраций).

По временным характеристикам вибрации выделяют:

• ***постоянные вибрации,*** для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6дБ) за время наблюдения;

• ***непостоянные вибрации,*** для которых величина нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6дБ) за время наблюдения не менее 10мин. при измерении с постоянной времени 1с.

Непостоянные вибрации подразделяются:

• ***колеблющиеся во времени,*** для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

• ***прерывистые,*** когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1с;

• ***импульсные,*** состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1с.

1.2. Характеристика основных параметров вибрации

Параметрами, характеризующими вибрацию: частота f (Гц), амплитуда a (м), скорость V (м/с) и ускорение W (м/с^2).

Частота колебаний означает количество полный колебаний за единицу времени. Единицей измерения частоты колебаний является герц (Гц), означающий одно колебание в секунду. Частота колебаний является величиной, обратно пропорциональной периоду колебаний.

Амплитудой колебаний является наибольшее смещение колеблющейся точки от нейтрального положения.

Скорость вибрации представляет собой первую производную смещения во времени – частоты и амплитуды колебаний:

$$V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot a \text{, м/с,} \qquad (1.1)$$

где f – частота вибрации, Гц; a – амплитуда вибрации, см.

При известной скорости вибрации можно определить амплитуду колебаний:

$$a = \frac{V}{2\pi f}, \text{ м.} \qquad (1,2)$$

Ускорение вибрации представляет собой вторую производную смещения во времени – частоты и амплитуды колебаний – и выражается в долях или единицах ускорения свободного падения:

$$W = \frac{4\pi^2 f^2 a}{981}, \text{ см/с}^2. \qquad (1.3)$$

1.3. Воздействие вибрации на организм человека

Негативное воздействие вибрации, проявляющееся в виде развития различных патологий, стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний. При воздействии вибрации тело человека рассматривается как сочетание масс с упругими элементами, имеющими собственные частоты, которые для плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности (положение "стоя") составляют 4 ~ 6Гц, головы относительно плеч (положение "сидя") – 25 – 30Гц. Для большинства внутренних органов собственные частоты лежат в диапазоне 6 – 9Гц. Однако, развитие вибрационных патологий зависит не только от частоты, но и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий. При этом существенное значение имеет индивидуальная чувствительность. Вредное действие вибрации усиливают шум, охлаждение, переутомление, значительное мышечное напряжение, алкогольное опьянение и др.

При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности, расстройство зрения, онемение и отечность пальцев рук, заболевание суставов, снижение чувствительности. Общая низкочастотная вибрация оказывает влияние на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного,

белкового, ферментного, витаминного и холестеринового обменов, биохимических показателей крови.

У женщин, подвергающихся длительному воздействию общей вибрации, отмечается повышенная частота гинекологических заболеваний, самопроизвольных абортов, преждевременных родов. Низкочастотная вибрация вызывает у женщин нарушение кровообращения органов малого таза. Общая вибрация с частотой менее 0,7Гц, определяемая как качка, хотя и неприятна, но не приводит к вибрационной болезни. Следствием такой вибрации является морская болезнь, вызванная нарушением нормальной деятельности вестибулярного аппарата по причине резонансных явлений.

При частоте колебаний рабочих мест, близкой к собственным частотам внутренних органов, возможны механические повреждения или даже разрывы. Низкочастотная общая вибрация, вызывая длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, смещение органов брюшной полости, изменения моторики гладкой мускулатуры желудка и кишечника, может приводить к болевым ощущениям в области поясницы, возникновению и прогрессированию дегенеративных изменений позвоночника, заболеваний хроническим пояснично – крестцовым радикулитом, хроническим гастритом.

Особенно опасна толчкообразная вибрация, вызывающая микротравмы различных тканей с последующими изменениями.

Систематическое воздействие общих вибраций, характеризующихся высоким уровнем виброскорости, приводит к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности.

Локальной вибрации подвергаются главным образом люди, работающие с ручным механизированным инструментом. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью. Особенно чувствительными к действию локальной вибрации являются отделы симпатической нервной системы, регулирующие тонус периферических сосудов. Доказано, что направленность сосудистых нарушений определяется, в первую очередь, параметрами воздействующей вибрации. Область частот 35 – 250Гц наиболее опасна в отношении развития спазма сосудов.

Например, ручные машины, вибрация которых имеет максимальные уровни энергии в низких частотах (до 35Гц), вызывают вибрационную патологию с преимущественным поражением нервно-

мышечного и опорно – двигательного аппарата. При работе с ручными машинами, вибрация которых имеет максимальный уровень энергии в высокочастотной области спектра (выше 125Гц), возникают сосудистые расстройства с наклонностью к спазму периферических сосудов. При воздействии вибрации низкой частоты заболевание возникает через 8 – 10 лет (формовщики, бурильщики), при воздействии высокочастотной вибрации – через 5 и менее лет (шлифовщики, рихтовщики).

При воздействии вестибулярных раздражителей, к которым относится вибрация, нарушаются восприятие и оценка времени, снижается скорость переработки информации. В ряде работ показано, что низкочастотная вибрация вызывает нарушение координации движения, причем наиболее выраженные изменения отмечаются при частотах 4 – 11Гц.

При увеличении интенсивности колебаний и длительности их воздействия возникают изменения, приводящие в ряде случаев к развитию профессиональной патологии — вибрационной болезни.

Гигиенические нормы, установленные в нормативных документах, ограничивают параметры вибрации рабочих мест и поверхности контакта с руками работающих исходя из физиологических требований, исключающих возможность возникновения вибрационной болезни.

Например, оценка степени вредности вибрации ручных машин производится по спектру виброскорости в диапазоне частот 11 – 2800 Гц. Для каждой октавной полосы в пределах указанных частот устанавливают предельно допустимые значения среднеквадратичной величины виброскорости и ее уровни относительно порогового значения, равного 5 • 10 ~ 8м/с.

Масса вибрирующего оборудования или его частей, удерживаемых руками, не должна превышать 10кг, а усилие нажима – 20кг.

Общая вибрация нормируется с учетом свойств источника ее возникновения.

Высокие требования предъявляют при нормировании технологических вибраций в помещениях для умственного труда (дирекция, диспетчерская, бухгалтерия и т. п.). Гигиенические нормы вибрации установлены для рабочего дня длительностью 8ч (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Влияние вибрации на организм человека

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Результат воздействия
До 0,015	Различная	Не влияет на организм
0,016-0,050	40-50	Нервное возбуждение с депрессией
0,051-0,100	40-50	Изменение в центральной нервной системе, сердце и органах слуха
0,101-0,300	50-150	Возможное заболевание
0,101-0,300	150-250	Вызывает виброболезнь

Таблица 1.2

Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с^2
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Примечание:* *При таких параметрах вибрации даже сверхпрочные клепочные конструкции до полного своего разрушения выдерживают не более 30 минут*

Санитарные нормы устанавливают предельно допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий (табл. 1.2).

Приведенные нормы одинаковы для горизонтальных и вертикальных вибраций. Непрерывность их воздействия не должна превышать 10 – 15% рабочего времени. Амплитуда колебаний, скорость и ускорение колебательных движений могут быть увеличены не более чем в три раза.

Снижение воздействия вибрирующих машин и оборудования на организм человека возможно путем:

• замены инструмента или оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах, где это возможно (например, замена электромеханических кассовых машин на электронные);

• применения виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);

• использования дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления вибротранспортером из соседнего помещения);

• использования автоматики в технологических процессах, где работают вибрирующие машины (например, управление по заданной программе);

• использования ручного инструмента с виброзащитными рукоятками, специальной обуви и перчаток.

В соответствии с требованиями нормативных документов для работников виброопасных профессий должен быть предусмотрен следующий внутрисменный режим труда и отдыха:

• общее время контакта с вибрирующими машинами, вибрация которых соответствует санитарным нормам, не должно превышать 2/3 длительности рабочего дня;

• производственные операции должны распределяться между работниками так, чтобы продолжительность непрерывного воздействия вибрации, включая микропаузы, не превышала 15 – 20мин.;

• дополнительно рекомендуются два регламентированных перерыва (для активного отдыха, проведения производственной гимнастики по специальному комплексу гидропроцедур): 20мин. – через 1 – 2ч. после начала смены и 30мин – через 2ч. после обеденного перерыва.

К работе с вибрирующими машинами и оборудованием должны допускаться лица не моложе 18 лет, получившие соответствующую квалификацию, сдавшие технический минимум по правилам безопасности и прошедшие медицинский осмотр.

Работа с вибрирующим оборудованием, как правило, должна проводиться в отапливаемых помещениях с температурой воздуха не менее 16°С, при относительной влажности 40 – 60% и скорости движения воздуха не более 0,3м/с. При невозможности создания подобных условий (работа на открытом воздухе, подземные работы и т. п.) для периодического обогрева должны быть предусмотрены специальные отапливаемые помещения с температурой воздуха не менее 22 °С, относительной влажностью 40 – 60% и скоростью движения воздуха 0,3м/с. Целесообразно также проводить в середине или в конце рабочего дня 5 – 10-ти минутные гидропроцедуры, сочетающие ванночки при температуре воды 38°С и самомассаж верхних конечностей.

1.4. Нормирование вибрации

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием требованиями ГОСТ 12.1.012-90 "ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования" и Санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.556-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий".

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, 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 устанавливается:

- ***для локальной вибрации*** в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000Гц;
- ***для общей вибрации*** в виде октавных или 1/3 октавных 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; 80,0Гц.

Для того, чтобы эффективно вести борьбу с вибрациями необходимо знать частотный состав колебательного процесса.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами являются средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни измеряемые в 1/1 и 1/3 октавных полосах частот.

В октавной полосе $f_2/f_1 = 2$, где f_2 и f_1 - верхняя и нижняя граничные частоты полос. В третьеоктавных полосах $f_2/f_1 = \sqrt[3]{2} < 1{,}26$. При этом полоса характеризуется значением $f_{ср} = \sqrt{f_2 f_1}$.

Поскольку абсолютные значения скорости и ускорения изменяются в широком диапазоне, для оценки вибрации пользуются относительными уровнями виброскорости и виброускорения, выражаемыми в децибелах (дБ):

$$L = 20\,lg\frac{V}{V_o}, \quad \text{дБ}, \qquad (1.4)$$

$$L = 20\,lg\,\frac{W}{W_o}, \quad \text{дБ}, \qquad (1.5)$$

где V_o – пороговое значение колебательной скорости, равное $5 \cdot 10^{-8}$ м/с; W_o – пороговое значение виброускорения, равное $3 \cdot 10^{-4}$м/с.

Использование логарифмической шкалы для гигиенической оценки воздействия вибрации обусловлено еще и тем обстоятельством, что чувствительность организма к действию вибрации изменяется пропорционально логарифму интенсивности воздействия.

Для общей и локальной вибрации зависимость допустимого значения виброскорости V_1 (м/с) от времени фактического воздействия вибрации, не превышающего 480мин, определяется по формуле:

$$V_1 = V_{480}\sqrt{\frac{480}{T}}, \quad \text{м/с}, \qquad (1.6)$$

где V_{480} -допустимое значение виброскорости для длительности воздействия 480мин, м/с.

Максимальное значение $V_т$ для локальной вибрации не должно превышать значений, определяемых для Т = 30мин, а для общей вибрации при Т = 10мин.

Предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480мин. (8ч.) приведены в табл. 1

Таблица 1.3

Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Средне-геометрические частоты октавных полос	*Предельно допустимые значения по осям $X_л, Y_л, Z_л$			
	виброускорения		виброскорости	
Гц	м/с^2	дБ	м/с·10^{-2}	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
Примечание: **Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.*				

Допустимые уровни вибрации в жилых домах, условия и правила их измерения и оценки регламентируются Санитарными нормами СН 2.2.4/2.18.566-96.

Для гармонических колебаний нормируемым параметром является амплитуда виброперемещения (мм), установленная с учетом частоты и характера выполняемой работы, которая используется для расчетов строительных конструкций при проектировании (табл.1.4).

Таблица 1.4

Допустимые амплитуды виброперемещения общей технологической вибрации (для расчета строительных конструкций при проектировании)

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения, a, $\cdot 10^{-3}$м		
	на постоянных рабочих местах в производственных помещениях	в производственных помещениях без вибрирующих машин	в помещениях административно-управленческих и для работников умственного труда
2	1,4	0,57	0,2026
1	2	3	4
4	0,25	0,1	0,0354
8	0,063	0,025	0,0090
16	0,0282	0,112	0,0039
31,5	0,0141	0,0056	0,0020
63	0,0072	0,0028	0,0010

В зависимости от величины превышения действующих нормативов производится градация условий труда при воздействии вибрации на работников.

1.5. Методы снижения воздействия вибрации

Общие методы снижения вибраций основаны на анализе уравнений, описывающих колебания машин и аппаратов. Для простоты анализа принято, что на систему действует переменная возмущающая сила, подчиняющаяся синосоидальному закону, поэтому уравнение, выражающее связь между амплитудами виброскорости (V_m) и возмущающей силы (F_m), имеет вид:

$$V_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + \left(m\ \omega - \frac{q}{\omega}\right)^2}}, \qquad (1.7)$$

где: m – масса системы, кг ; q – коэффициент жесткости системы, Н/м; ω – угловая частота возмущающей силы, рад/с.

Знаменатель в данном уравнении выражает полное механическое сопротивление системы воздействию возмущающей силы, при этом величина μ характеризует активную часть этого сопротивления, а величина ($m\omega - \frac{q}{\omega}$) – реактивную часть.

В режиме резонанса, когда частота колебаний системы равна частоте возмущающей силы, $\omega = \omega_o = \sqrt{\frac{q}{m}}$ – реактивное сопротивление равно нулю и амплитуда колебаний резко возрастает.

Анализ вышеприведенного уравнения позволяет определить ***основные технические меры борьбы с вибрацией:***

- ***устранение или снижение вибрации в источнике возникновения (устранение или снижение F_m);***
- ***вибродемпфирование;***
- ***динамическое гашение вибрации.***

Устранение или снижение вибрации в источнике возникновения должны быть реализованы еще на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов. При этом особое внимание должно быть уделено исключению или максимальному сокращению динамических процессов, вызванных ударами, резкими ускорениями.

Ослабление вибрации в источнике ее возникновения производится за счет уменьшения действующих в системе переменных сил. Такое уменьшение переменных возможно при замене динамических процессов статическими, при тщательной балансировке вращающихся частей и др.

При наличии контакта с вибрирующим объектом передачу вибрации можно уменьшить, используя дистанционное управление, автоматический контроль и сигнализацию ограждения. Эти методы должны полностью исключить контакт оператора с вибрирующим объектом.

Вибродемпфирование основано на уменьшении уровня вибрации путем преобразования энергии механических колебаний в тепловую. Оно может быть достигнуто:

- использованием в качестве конструкционных материалов с большим внутренним трением;
- нанесением на вибрирующие поверхности упруговязких материалов;
- применением поверхностного трения.

Эффективным видом демпфирующих устройств являются гасители колебаний, работающие по принципу антирезонанса, возникающего в системах с двумя степенями свободы. Принцип действия антирезонанса состоит в том, что одна из масс системы остается в состоянии покоя при действии на нее гармонического возмущения определенной частоты. Наибольший эффект динамических гасителей наблюдается при применении их в условиях резонансных режимов колебаний. На рис.1.3 приводятся различные типы гасителей вибраций.

Динамическое виброгашение осуществляют установкой машин и агрегатов на фундаменты, массу которых рассчитывают так, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента не превышала 0,1 – 0,2мм, а для отдельных сооружений – 0,005мм.

Возможно использование виброгасителей, которые представляют собой колебательную систему, собственная частота которой настроена на основную частоту колебаний данного объекта. Виброгаситель жестко крепится на вибрирующем объекте и потому в нем возникают колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями этого объекта.

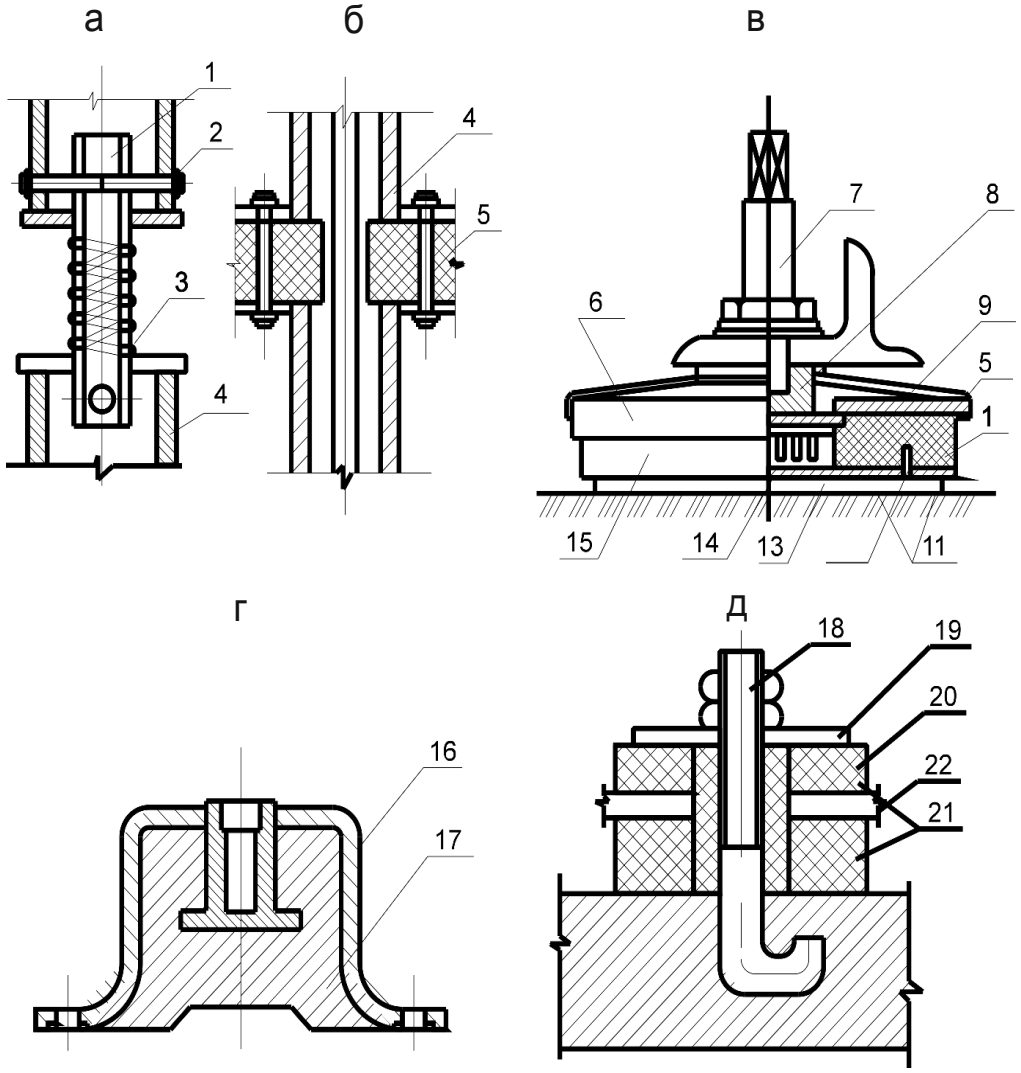


Рис.1.3. Гасители вибраций:

а – пружинного типа; б – с резиновой прокладкой; в – виброизолирующая опора 08 – 31; г – разрез амортизаторе типа АКСС; д – виброизоляция кожуха редуктора;

1 – соединитольный палец; 2 – фиксатор соединительного пальца; 3 – пружина; 4 – рукоятка; 5 – резиновый элемент; 6 – крышка; 7 – регулировочный болт; 8 – гайка;9 – гофрированная пружина; 10 – ребро жесткости; 11 – фрикционные кольца; 12 – паз; 13 – основание амортизатора; 14 – демпфор жидкостного трения; 15 – основание армотизатора; 16 – металлический каркас; 17 – резинометаллический элемент; 18 – анкерный болт; 19 – шайба; 20 – резиновая втулка; 21 – резиновая прокладка

Вибропоглощение заключается в нанесении на вибрирующую поверхность упруговязких материалов, обладающих большим внутренним трением (резина, пластики, вибропоглощающие мастики).

Ослабление вибрации достигается за счет поглощения энергии колебаний в упруговязких материалах.

Вибропоглощающие покрытия эффективны при условии, если толщина слоя равна нескольким длинам волн колебаний изгиба.

Вибропоглощающие покрытия наносят в местах максимальных амплитуд вибраций, которые определяют на основании исследования виброскорости в различных точках конструкции.

Толщина вибропоглощающего слоя обычно в 2 – 3 раза больше толщины покрываемой конструкции.

В тех случаях, когда перечисленные выше меры защиты оказываются недостаточно эффективными и не удается снизить уровень вибрации до допустимых значений, используют *виброизоляцию.*

Виброизоляция основана на уменьшении передачи колебаний от источника возникновения защищаемому объекту с помощью устройств, помещаемых между ними. Между источником колебаний и защищаемым объектом появляется упругая связь, ослабляющая уровень вибрации. В качестве таких упругих элементов могут быть использованы виброизоляторы в виде пружин, рессор, резиновых прокладок и т.д.

Установка машины на виброизоляторы (амортизаторы) уменьшает передачу вибраций на основание и, следовательно, уменьшает вредные вибрации рабочих мест.

Виброизоляция называется активной, если она применяется для уменьшения вибраций от источника возбуждения (машины) на поддерживающую конструкцию.

Наиболее эффективным методом создания вибробезопасных условий является разработка активной виброизоляиии, уменьшающей динамические нагрузки, передаваемые от вибрирующих установок на поддерживающие конструкции. Схема активной виброизоляции представлена на рис.1.4. Виброизоляция может быть двух вариантов: опорной и подвесной. При опорной виброизоляции виброизоляторы располагаются под корпусом изолируемой машины или под жестким фундаментным блоком. При подвесной виброиэоляции изолируемый объект подвешивается на виброизоляторах, закрепленных выше подошвы фундамента.

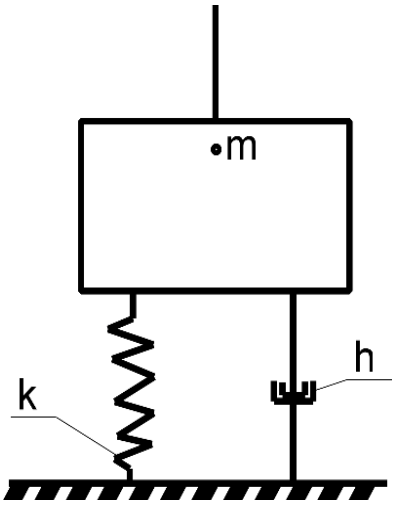


Рис.1.4. Схема активной виброизоляции: М – упругозакрепленная машина; К – общий коэффициент жесткости пружин; h – коэффициент деформирования

Пассивная виброизоляция применяется, если требуется защитить виброизолируемый объект от колебаний поддерживающего основания.

Пассивная виброизоляция применяется для защиты людей, находящихся в зоне распространения вибрации. Чаще всего пассивная изоляция устраивается в виде массивной плиты, имеющей контакт с вибрирующим основанием через другие амортизаторы. Расчет такой изоляции сводится к подбору соотношения между массой плиты и коэффициентом жесткости упругих опор, при котором колебания плиты доводятся до значений более низких, чем колебания основания (под коэффициентом жесткости упругих, опор (кг/см) имеется ввиду величина усилия (кг), при котором осадка упругих опор равна 1см).

Виброизоляция - это единственный способ уменьшить вибрацию, передающуюся на руки от ручного механизированного инструмента.

На рис.1.5 показана изоляция виброударной площадки. Примеры пассивной изоляции рабочих мест показаны на рис. 1.6.

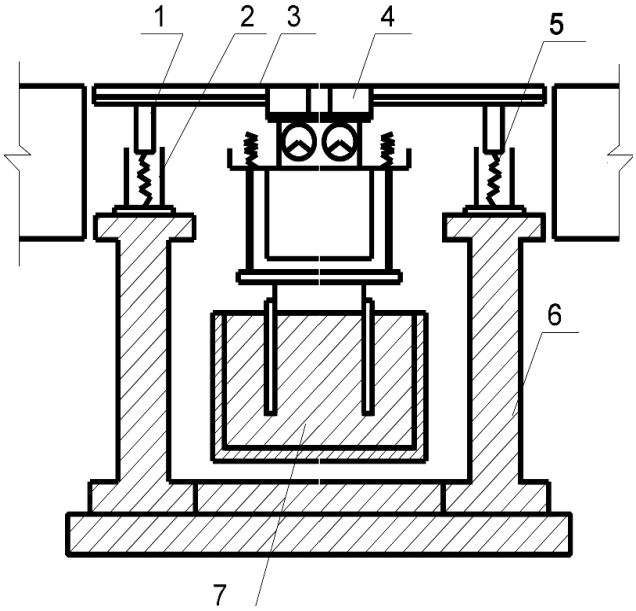


Рис.1.5. Виброизолированный фундамент виброударной площадки:
1 – амортизаторы крышки; 2 – стаканы; 3 – крышка; 4 – вибрирующая машина; 6 – стенки; 7 – подвижный блок.

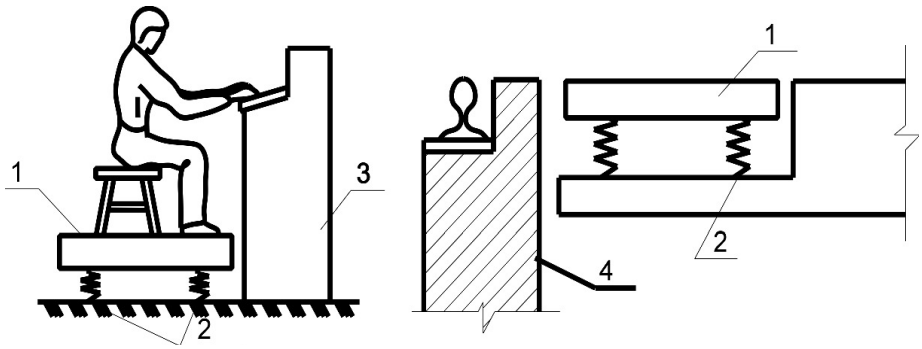


Рис.1.6. Схемы виброизоляции рабочего места:
а – рабочее место оператора; б – рабочее место на уровне пола;
1 – виброизолирующая железобетонная плита; 2 - виброизоляторы; 3 – виброизолируемая машина; 4 - фундамент виброплошадки.

При воздействии на работающих локальной вибрации используется также ***метод защиты временем***. Он заключается в том, что при использовании виброопасных ручных инструментов работы следует производить в соответствии с разработанными режимами труда, согласно которым суммарное время контакта с вибрацией в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от величины превышения санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий" (табл.1.5).

Таблица 1.5

Допустимое суммарное за смену время действия локальной вибрации

Превышение предельно допустимого уровня (ПДУ) локальной вибрации		Допустимое суммарное время воздействия локальной вибрации за смену, мин
дБ	раз	
1	1,1	381
2	1,25	302
3	1,4	240
4	1,6	191
5	1,8	151
6	2,0	120
7	2,25	95
8	2,5	76
9	2,8	60
10	3,2	48
11	3,6	38
12	4	30

1.6. Средства индивидуальной защиты от вибрации

При работе с ручным механизированным и пневматическим инструментом применяются средства индивидуальной защиты рук от вибрирующих объектов, указанные в ГОСТ 12.4.002-97. ССБТ. «Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний».

Средства защиты рук допускается изготовлять различных конструкций с защитными прокладками, усилительными накладками и подкладками различной формы и местом расположения (рис.1.7). Для изготовления оснований и накладок изделий используются ткани, трикотажные полотна, искусственные и натуральные кожи. Защитные прокладки выполняются из упругодемпфирующих материалов.

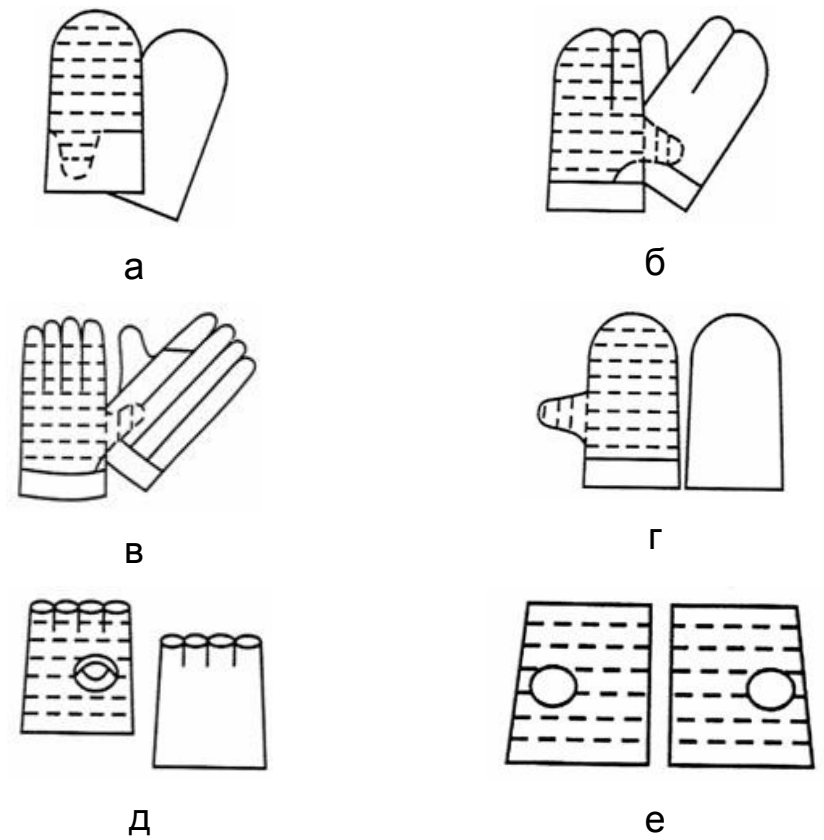


Рис.1.7. Виды средств защиты рук по ГОСТ 12.4.002-97:
а – рукавица, б – перчатка трехпалая, в – перчатка пятипалая, г – рукавица с полимерным латексным покрытием, д – полуперчатка, е – полурукавица

Таблица 1.6

Показатели защитных свойств изделий по ГОСТ 12.4.002-97

Тип изделия	Толщина защитной прокладки, мм, не более	Усилие нажатия, Н, не более	Эффективность, дБ, на частотах Гц, не менее							
			8	16	31,5	63	125	250	500	1000
1а	5	50	1	1	2	2	3	4	5	8
1б	5	100	+	+	1	2	2	3	4	6
2а	8	100	1	1	2	2	3	4	5	6
2б	8	200	+	+	1	2	2	3	3	5
Примечание: *Знак "+" означает, что эффективность должна быть положительной.*										

Таблица 1.7

Рекомендации по применению средств защиты рук по ГОСТ 12.4.002-97

Характер труда (работ)	**Профессия**	**Применяемые ручные машины**	**Средства защиты рук (конструкция)**	**Тип изделий по таблице 1**
1	2	3	4	5
Грубые работы, требующие простого удержания рукоятки или нажатия на нее, работы рукой в целом и корпусом	Горнорабочие, проходчики, строительные рабочие, формовщики	Перфораторы, горные сверла, отбойные молотки, бетоноломы, сверлильные машины для отверстий большого диаметра*	Рукавицы однопалые, перчатки трехпалые	2б
Примечание. ** При работе применять средства защиты с максимально достижимой эффективностью на низких частотах (ниже 63 Гц).*				

Окончание табл. 1.7

1	2	3	4	5
Работы, требующие обхвата профильных рукояток, переключения органов управления, удержания ручных машин в различном пространственном положении; пространственная работа кистью и нажатие пусковых устройств пальцами	Обрубщики, слесари-сборщики, шлифовщики, полировщики, плотники	Рубильные молотки, гайковерты. Шлифовальные машины с цилиндрическим и (или) плоскими кругами, сверлильные машины для средних и малых отверстий.* Электрорубанки и пилы	Рукавицы однопалые,перчатки трехпалые, полурукавицы, полуперчатки	1а, 1, 2а, 2б
Примечание. ** При работах применять средства защиты с максимально достижимой эффективностью на средних частотах (от 63 до 250 Гц).*				
Точные работы, требующие манипулирования малогабаритными предметами в пространстве, мелкие, сложные и точные движения пальцев рук	Клепальщики, слесари-сборщики	Клепальные авиационные молотки, зачистные малогабаритные молотки.* Высокоскоростные лифмашины и бормашины с фигурными шлифовальными камнями, шуруповерты, пневмоотвертки**	Полуперчатки, перчатки	1а
Примечания. ** При работе применять средства защиты с максимально достижимой эффективностью на низких частотах (ниже 63 Гц).* *** При работе применять средства защиты с высокой эффективностью на высоких частотах (выше 250 Гц).*				

Показателем защитных свойств изделий является коэффициент эффективности вибрационной защиты (коэффициент эффективности) или его логарифмический уровень (эффективность). Защитные свойства изделий устанавливаются в диапазоне нормирования локальной вибрации на частотах 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 1000Гц (табл.1.6).

Допускается устанавливать показатели защитных свойств конкретных типов изделий в сокращенном частотном диапазоне, исключая верхние или нижние значения указанных частот (например, начиная только с частоты 31,5Гц или 63Гц и т.д., или только до частоты 250Гц или 500Гц и т.д.).

Основным конструктивным параметром изделия, для которого устанавливаются значения показателей защитных свойств, является толщина ладонной части (упругодемпфирующей прокладки и других материалов), максимальная толщина которой с защитной прокладкой не должна превышать 8мм.

Рекомендации по применению средств защиты рук представлены в таблице 1.7.

Для изоляции рабочих от вибрирующего пола применяют резиновойлочные маты; антивибрационные площадки; виброизолирующую обувь, стельки, подметки по ГОСТ 12.4.024-76. «Обувь специальная виброзащитная».

Спецобувь изготавливается в виде сапог, полусапог и полуботинок мужских и женских, которая должна обладать защитными свойствами, указанными в табл.1.8.

Таблица 1.8

Показатели защитных свойств изделий по ГОСТ 12.4.024-76

Вид спецобуви	**Защитные свойства**						
	от вибрации и ударов энергией 5 Дж	**от вибрации, нетоксичной пыли, пыли стекловолокна и ударов энергией**		**от вибрации, скольжения по зажиренной поверхности и ударов энергией**		**от вибрации, пониженных температур и ударов энергией**	
		5 Дж	**50 Дж**	**5 Дж**	**50 Дж**	**5 Дж**	**50 Дж**
Сапоги	+	+	+	+	+	+	+
Полусапоги	+	+	+	+	+	+	+
Полуботинки	+	-	-	+	-	-	-
Примечание. *Знак "+" означает, что указанные защитные свойства обязательны для данного вида спецобуви, знак "-" - не обязательны.*							

Виброзащитные свойства обуви обеспечиваются применением виброизолирующих элементов, состоящих из упругодемпфирующих материалов или конструкций.

Виброзащитная спецобувь в зависимости от способа применения виброизолирующего элемента подразделяется на следующие типы:

I - спецобувь с несъемными виброизолирующими элементами, входящими в пакет деталей низа обуви;

II - спецобувь со съемными виброизолирующими элементами, вкладываемыми внутрь обуви в виде стелек или присоединяемых снизу к подошве.

Виброзащитные свойства спецобуви характеризуются коэффициентом передачи по ГОСТ 24346-80, значения которого должны соответствовать указанным в табл.1.9.

Значения коэффициента передачи устанавливают, на сколько снизятся уровни вибрации, воздействующей на работающего, при применении спецобуви соответствующей группы.

В зависимости от коэффициента передачи виброзащитная спецобувь делится на группы А и Б, обеспечивающие защитные свойства, указанные в табл.1.9.

Таблица 1.9

Коэффициент передачи по ГОСТ 24346-80

Частота, Гц	**Коэффициент передачи, дБ, не менее**	
	А	**Б**
16	2	4
31,5	4	7
63	4	7
Примечание. *Показатели группы Б вводятся с 01.01.89.*		

Спецобувь должна изготовляться с подошвами из маслобензостойких материалов с противоскользящим рифлением и иметь клеймо с обозначением защитных свойств по ГОСТ 12.4.103-83.

Срок носки спецобуви не должен быть менее 6 месяцев и устанавливается нормативной документацией на каждый конкретный вид спецобуви.

В целях профилактики развития вибрационной болезни для работающих с вибрирующим оборудованием регламентируется режим работы – продолжительность рабочей смены, обязательные перерывы, отдых.

2. ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТ ВИБРАЦИИ

2.1.Защита от вибрации инженерного оборудования

Установленные в зданиях и сооружениях инженерное и технологическое оборудование (системы вентиляции и кондиционирования воздуха, водоснабжения и отопления, лифты, трансформаторы и т.д.), а также промышленные установки, создают при работе большие динамические нагрузки, возбуждают вибрацию соединенных с ним конструкций и распространение вибрации в строительных конструкциях зданий.

С целью исключения или снижения воздействия вибрации на строительные конструкции инженерные агрегаты необходимо устанавливать на виброизоляторы и изолировать подходящие к ним коммуникации. Для этого применяют однозвенную (рис.2.1б, г, д, е), двухзвенную (рис.2.1в, ж, з), а иногда и трехзвенную схему виброизоляции. Между агрегатом и виброизоляторами часто располагают массивную плиту (обычно железобетонную) или жесткую опорную раму (рис.2.1г, д, з). Это может быть плита перекрытия, железобетонный блок, балки и т.д.

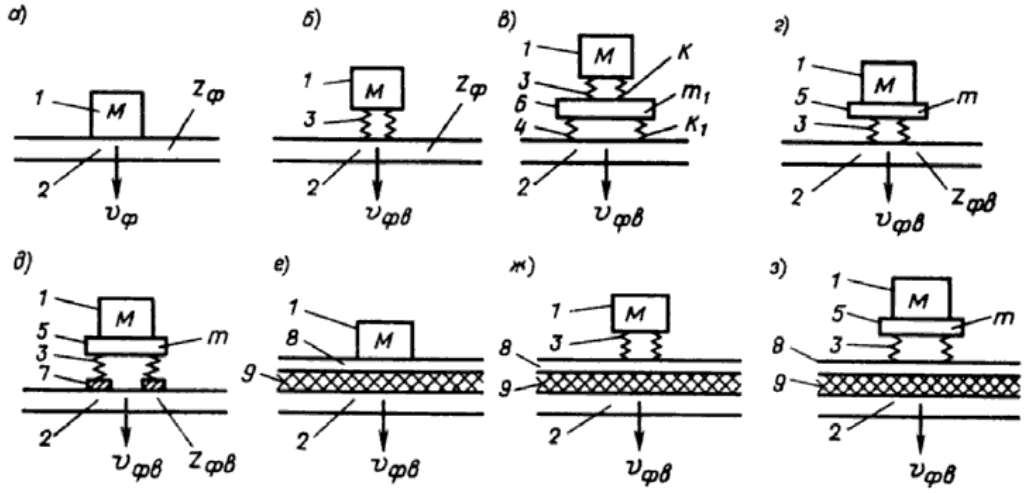


Рис.2.1. Схемы жесткого и виброизолированного крепления машины к фундаменту:

а — машина жестко прикреплена к фундаменту; б — машина установлена на виброизоляторах; в — двухзвенная схема с применением виброизоляторов; г — машина установлена на плите массой m на виброизоляторах; д — то же, что и г, дополнительно установлены эластичные прокладки; е — машина жестко прикреплена к плавающему полу на упругом основании; ж — машина установлена на виброизоляторах и полу на упругом основании; з — то же, что и ж, дополнительно установлена плита m; 1 — машина; 2 — фундамент; 3, 4 —- виброизоляторы; 5 — фундаментная плита; 6 — промежуточный блок; 7 — эластичные прокладки; 8 — плавающий пол на упругом основании; 9 — слой упругого материала.

Виброизолирующие элементы могут быть представлены:

• в виде отдельных опор (пружинные виброизоляторы, основным рабочим элементом которых являются одна или несколько стальных винтовых пружин; упругие прокладки, нередко имеющие сложную форму);

• в виде слоя упругого материала, укладываемого между машиной и фундаментом;

• в виде плавающего пола на упругом основании. Пол на упругом основании представляет собой железобетонную стяжку, устроенную на упругом основании поверх несущей плиты перекрытия здания. Обычно применяется в двухзвенной схеме с другими виброизоляторами (рис.2.1ж).

Виброизоляторы снижают колебания фундамента и их подбирают так, чтобы резонансная частота лежала ниже диапазона частот, в котором необходимо снижение данных колебаний. Это возможно при достаточно низкой жесткости виброизоляторов.

На рис.2.2 показан характерный график зависимости виброизоляции инженерного агрегата от частоты при устройстве виброизолирующего основания с применением упругих элементов из материала Sylomer®.

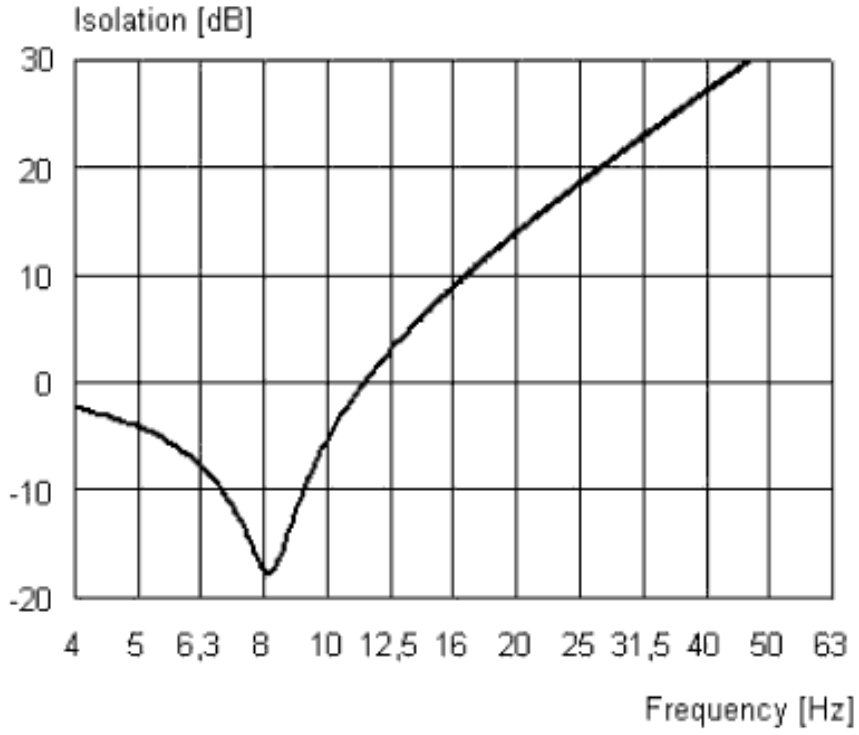
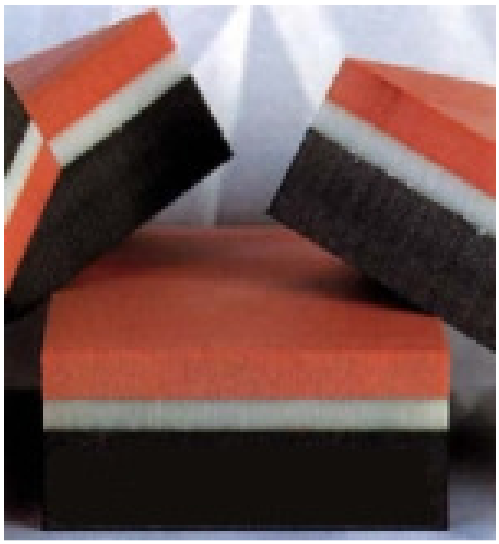


Рис. 2.2 График виброизоляции

В качестве примера приведем виброизоляцию силовых трансформаторов с помощью опорных элементов Sylomer® — Traf (рис.2.3).

Для снижения акустического воздействия силовых трансформаторов на прилегающие помещения применяются специальные виброизолирующие элементы, состоящие из 3-х слоев материала SYLOMER® различного типа. Материалы SYLOMER® австрийской фирмы Getzner Werkstoffe GmbH представляют собой микропористые полиуретановые эластомеры со смешанной (открыто-закрытой) ячеистой структурой. Для стандартных трансформаторов разработан ряд специальных виброизолирующих опорных элементов Sylomer® — Trafo .



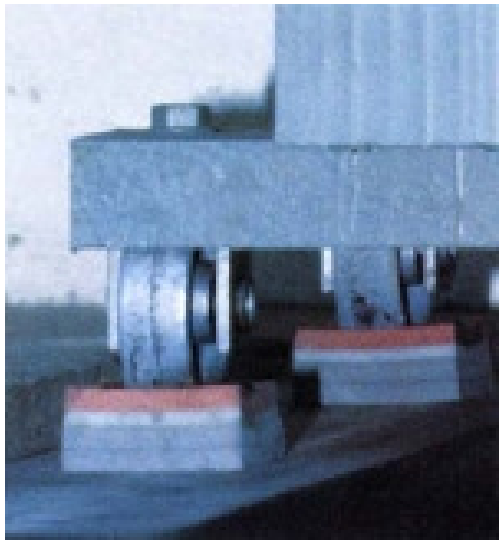


Рис.2.3. Виброизоляцию силовых трансформаторов с помощью опорных элементов Sylomer®-Traf

Виброизоляторы Sylomer® — Trafo применяются в качестве виброизолирующих опор для снижения акустического воздействия и уменьшения передачи вибраций трансформаторов на несущие конструкции зданий и сооружений. Выбор типа виброизолирующего элемента производится исходя из собственной массы и характеристик трансформатора.

Состав:

- 1-й слой: 12мм Sylomer® P для «фиксирования» опоры машины. Этот слой отвечает за стабильность системы;
- 2-й слой: 8мм Sylomer® высокой плотности, служит для равномерного распределения нагрузки;
- 3-й слой: 25мм Sylomer® S600, S680 и S750 выступает в роли пружины.

Данная трехслойная конструкция позволяет гарантировать равномерное распределение нагрузки по всей площади прокладки

Материалы не подвержены гидролизу, а также воздействию разбавленных щелочей, кислот, растворителей и масел

При воздействии статической нагрузки материалы не теряют своих виброизолирующих свойств в течение 10 лет и более.

В случае применения виброизоляторов Sylomer® — Trafo частота собственных колебаний виброизолированного трансформатора составляет 15Гц. Снижение уровня вибрации на частоте 100Гц достигает 35дБ (98%).

Таблица 2.1

Характеристики виброизоляторов Sylomer® — Trafo

Тип виброизолятора	Размеры виброизолятора, мм	Собственная масса трансформатора, т
TR T600/100	100 x 100 x 45	до 0,9
TR T600/120	120 x 100 x 46	до 1,3
TR T680/120	120 x 100 x 47	до 1,9
TR T680/140	140 x 100 x 48	до 2,2
TR T680/160	160 x 100 x 49	до 2,6
TR T750/160	160 x 100 x 50	до 3,4

В целом, проектирование виброизолирующих конструкций сводится к:

- выбору конструктивной схемы виброизоляции,
- подбору типа и параметров виброизоляторов по известной номенклатуре (реже их рассчитывают и проектируют),
- выбору конструкции пола на упругом основании (если он требуется),
- расчету эффективности принятой конструкции (виброизоляции).

Все рассмотренные виброизолирующие конструкции снижают передаваемую на фундамент вибрацию только на частотах, превышающих основную частоту собственных вертикальных колебаний (резонансную частоту) системы, состоящей их машины, установленной на виброизолирующем основании.

Если жесткость неопорных связей (трубопроводов, гибких вставок и т.д.) не более половины жесткости виброизоляторов, то могут быть выбраны виброизоляторы и спроектирована виброизолирующая конструкция. В противном случае необходимо учитывать жесткость неопорных связей – выбор виброизоляторов и самой виброизолирующей конструкции становится более сложным.

Для виброизоляции машин с рабочими частотами менее 18 — 20Гц при меняются пружинные виброизоляторы. При больших рабочих частотах используются как пружинные виброизоляторы, так и упругие прокладки из эластомерного материала Sylomer®. Однако на средних и высоких частотах виброизоляция пружинами невелика. Некоторое увеличение ее достигается при установке резиновых прокладок между пружинами и фундаментом. На больших частотах дополнительная виброизоляция растет с частотой и становится тем выше, чем больше коэффициент потерь, толщина и коэффициент формы прокладки. Поэтому их следует изготовлять из перфорированной, а не сплошной резины, как это обычно делают. Тонкие резиновые прокладки не устраняют основного недостатка пружинных виброизоляторов — низкую виброизоляцию на средних и высоких частотах.

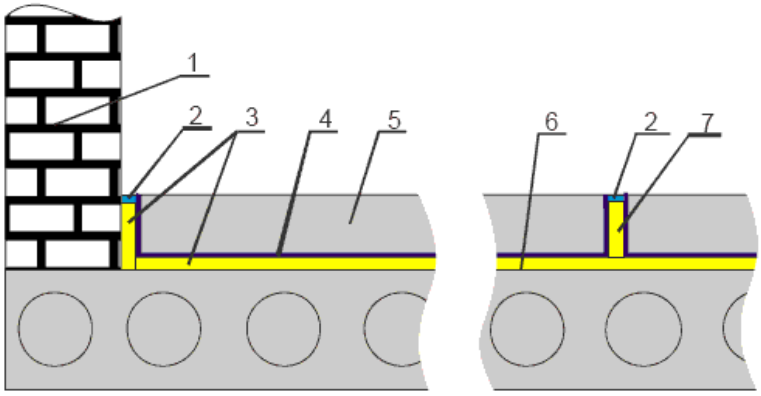


Рис.2.4. Принципиальная схема устройства звукоизоляционного плавающего пола: 1 — стена здания; 2 — невысыхающий герметик; 3 — звукопоглощающие плиты «AcousticWool Floor» толщиной 20мм; 4 — гидроизолирующий слой полиэтилена; 5 — бетонная стяжка толщиной 80мм, армированная металлическими конструкциями; 6 — плита перекрытия; 7 — технологический деформационный шов (выполняется в случае необходимости).

Для небольших машин, виброизоляция которых может быть обеспечена и другими способами используются плавающие полы. Без специальных виброизоляторов плавающие полы можно использовать только с оборудованием, имеющим рабочие частоты более 45 — 50Гц. На низких частотах ввиду неэффективности полов их применяют толь-

ко в сочетании с другими видами виброизоляторов (за счет виброизоляторов), а также на средних и высоких (за счет виброизоляторов и плавающего пола).

Стяжка плавающего пола должна быть тщательно изолирована от стен и несущей плиты перекрытия, так как образование даже небольших жестких мостиков между ними может существенно ухудшить его виброизолирующие свойства. Конструкция плавающего пола должна обеспечивать ее несущую способность на действие статической нагрузки от оборудования (рис.2.4).

Железобетонную плиту устанавливают также в тех случаях, когда жесткость подходящих к машине трубопроводов с гибкими вставками соизмерима или превышает общую жесткость виброизоляторов, которые потребовались бы для установки машины без этой плиты. Такое положение может иметь место, например, при виброизоляции насосов.

При устройстве массивных виброизолированных оснований необходимо учитывать наличие внутренних виброизолирующих элементов у вентиляционного и компрессорного оборудования.

Рассмотрим примеры устройства виброизолирующих оснований для трех различных вентиляционных агрегатов, закрепленных на железобетонной фундаментной плите и установленных на монолитную плиту межэтажного перекрытия толщиной 200мм.

Все агрегаты имеют одинаковую массу 610кг и разные рабочие частоты вращения движущихся частей:

- агрегат №1: 750об/мин;
- агрегат №2: 1450об/мин;
- агрегат №3: 3000об/мин.

Габаритные размеры каждого агрегата: 2100х1300х130 мм.

Рабочие частоты агрегатов f_p, Гц определяются следующим образом:

- f_{p1} = 750/60 = 12,5Гц;
- f_{p2} = 1450/60 = 24,2Гц;
- f_{p3} = 3000/60 = 50Гц.

Размеры фундаментной железобетонной плиты выбираются таким образом, чтобы ее масса в 2 — 3 раза превышала массу вентиляционного агрегата.

Выберем размеры фундамента: 2300х 500х 50мм. Масса такого фундамента из тяжелого бетона составляет 1242кг.

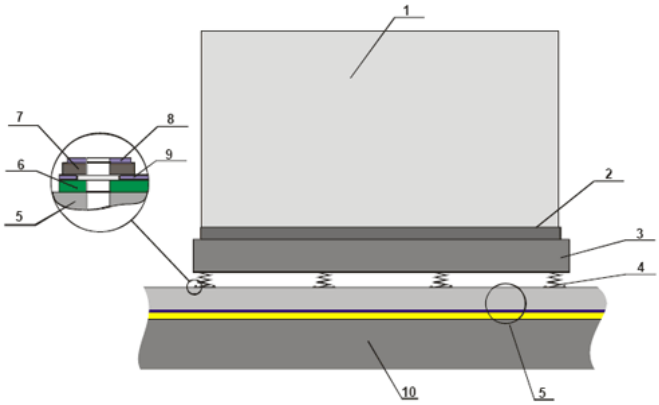


Рис.2.5. Принципиальная схема №1: 1 — вентиляционный агрегат; 2 — металлическая опорная рама; 3 — фундаментная плита толщиной 150мм; 4 — пружинный виброизолятор ВИП 44–ДО; 5 — конструкция плавающего пола; 6 — резиновая прокладка толщиной 10мм по всей площади опорной пластины;7 — резиновая шайба толщиной 10мм и размером 40х40мм; 8 — стальная шайба; 9 — стальная нижняя пластина опоры виброизолятора; 10 — плита перекрытия

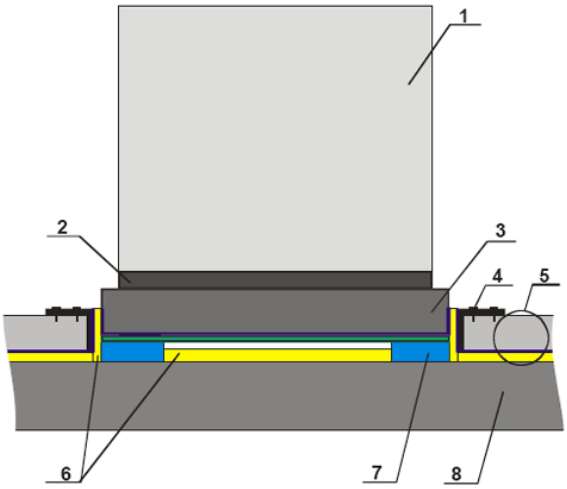


Рис.2.6. Принципиальная схема №2. 1 — вентиляционный агрегат; 2 — металлическая опорная рама; 3 — фундаментная плита толщиной 150мм; 4 — металлический уголок (монтируется в случае необходимости); 5 — конструкция плавающего пола; 6 — звукопоглощающие плиты «AcousticWool Floor» толщиной 20мм; 7 — виброизолирующий элемент «Sylomer®R» размером 2300х200х50мм; 8 — плита перекрытия.

Рассмотрим три различных типа виброизолирующих оснований:

1. Принципиальная схема №1 – устройство виброизолирующего основания с помощью 8 пружинных виброизоляторов типа ВИП – 44ДО и конструкции плавающего пола (рис.2.5).

2. Принципиальная схема №2 – устройство виброизолирующего основания с применением упругих элементов из материала «Sylomer®» толщиной 50мм (рис.2.6).

3. Принципиальная схема №3 – устройство виброизолирующего основания с применением звукоизолирующего материала «AcousticWool Floor» общей толщиной 60 мм (рис.2.7).

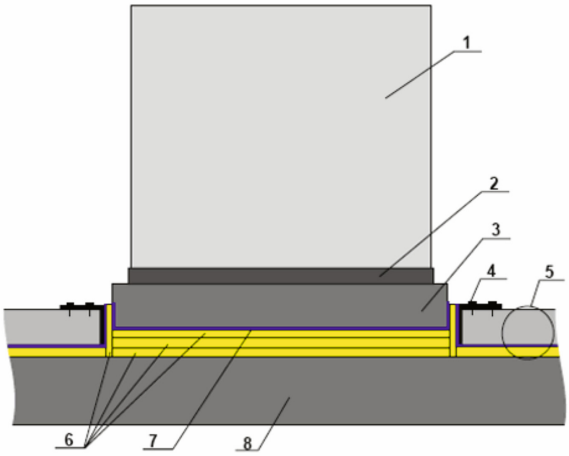


Рис.2.7. Принципиальная схема №3. 1 — вентиляционный агрегат; 2 — металлическая опорная рама; 3 — фундаментная плита толщиной 150мм; 4 — металлический уголок (монтируется в случае необходимости); 5 — конструкция плавающего пола; 6 — звукопоглощающие плиты «AcousticWool Floor» толщиной 20мм; 7 — гидроизолирующий слой полиэтилена; 8 — плита перекрытия.

Таблица 2.2

Результат применения различных виброизолирующих оснований

	Схема №1, f_{01} = 2Гц	**Схема №2, f_{02} = 12Гц**	**Схема №3, f_{20} = 20Гц**
Агрегат №1, f_{p1} = 12,5Гц	колебания фундамента снижаются	резонанс, резкое усиление колебаний фундамента	колебания фундамента не снижаются
Агрегат №2, f_{p1} = 24,2Гц	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются	резонанс, резкое усиление колебаний фундамента
Агрегат №3, f_{p1} = 50Гц	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются	колебания фундамента снижаются

Эффект от применения различных схем виброизоляции данного агрегата изменяется позитивного к негативному (табл.2.2).

Из представленного выше следует:

- эффективность виброизоляции инженерного оборудования (например, вентиляционного) зависит от его рабочей частоты;
- эффективность виброизоляции инженерного оборудования зависит от примененной схемы виброизоляции;
- неправильный выбор схемы виброизоляции может привести к неконтролируемому увеличению амплитуды колебаний фундамента инженерного оборудования.

Проектирования виброизоляции показывает, что схема виброизоляции №1 теоретически является наиболее эффективной для виброизоляции низкочастотных инженерных агрегатов. Но на практике применение пружинных виброизоляторов имеет ряд ограничений и недостатков, связанных со значительной толщиной виброизолирующего основания, снижением эффективности виброизоляции на частотах волнового совпадения, необходимостью тщательно рассчитывать центр масс агрегатов для обеспечения равномерной нагрузки на пружины.

Две другие схемы в меньшей степени подвержены указанным недостаткам, обеспечивают надежную конструкционную устойчивость оснований оборудования, но имеют ограничения по частотному диапазону эффективной виброизоляции.

Виброизоляция неопорных связей трубопроводов (воздуховодов) инженерных сетей выполняется с целью обеспечения требуемой свободы движения виброизолированной машины за счет снижения жесткости рассматриваемых связей. Это необходимо для эффективной работы виброизоляторов и снижения звуковой энергии, распространяющейся через эти связи.

Для виброизоляции на каждом трубопроводе (или воздуховоде), присоединенном к машине, устанавливают гибкие вставки. Их следует располагать как можно ближе к вибрирующему агрегату. Если жесткость этих вставок мала по сравнению с жесткостью виброизоляторов (например, у вентиляторов), то не имеет существенного значения, как они ориентированы. В тех случаях, когда жесткость гибких вставок сравнима с жесткостью виброизоляторов (насосные агрегаты, компрессоры) вставки следует располагать так, чтобы влияние их жесткости было минимально в направлениях действия наибольших динамических сил, развиваемых инженерной машиной.

Например, гибкие вставки для насосных агрегатов имеют большую жесткость в продольном направлении и меньшую в поперечном. Поэтому их следует располагать параллельно оси вращения.

В некоторых случаях на одном трубопроводе устанавливают две гибкие вставки на двух его расположенных рядом взаимно перпендикулярных участках. Тогда обеспечивается полезная для виброизоляции относительно низкая жесткость этой связи во всех направлениях.

Увеличение числа гибких вставок на трубопроводе более одной — двух не приводит к снижению, распространяющейся по нему, звуковой вибрации, которая все равно распространяется по содержащейся в нем воде (воздуху).

На участках трубопроводов (воздуховодов) между агрегатом и гибкой вставкой не рекомендуется выполнять узлы крепления к строительным конструкциям (даже виброизолированных).

Трубопроводы (воздуховоды) не должны иметь жесткого контакта с ограждающими конструкциями. Часто жесткое крепление трубопроводов и воздуховодов к строительным конструкциям является причиной недопустимого уровня шума в удаленных помещениях, расположенных через несколько этажей от данного места крепления.

Крепление трубопроводов и воздуховодов к строительным конструкциям необходимо производить при помощи виброизолирующих креплений «Виброфикс™ » с упругим элементом на основе материала Sylomer (рис.2.8).

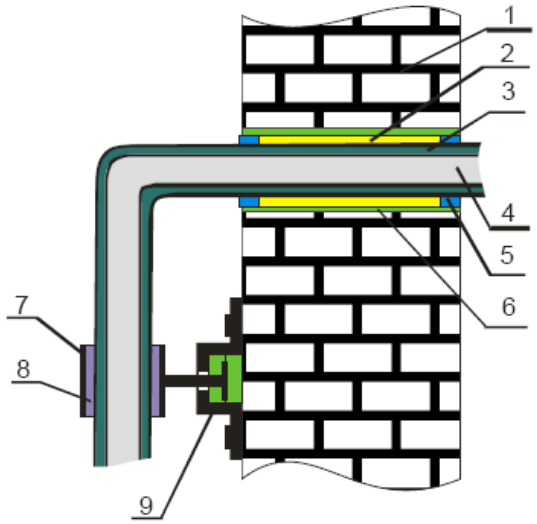


Рис.2.8. Схема прокладки инженерных сетей:
1 — стена; 2 — негорючая упругая прокладка из материала «AcousticWool»; 3 — вибродемпфирующий материал K—Flex; 4 — трубопровод; 5 — невысыхающий герметик; 6 — гильза; 7 — монтажный кронштейн; 8 — прокладка из мягкой резины; 9 — виброизолирующее крепление «Виброфикс UNI».

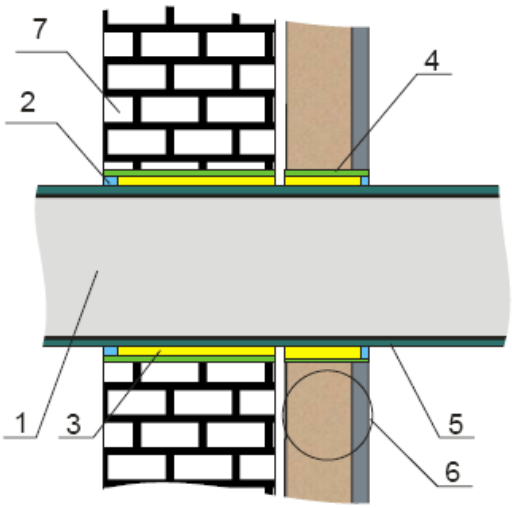


Рис.2.9. Схема прокладки вентиляционных каналов через стены:
1 — вентиляционный канал; 2 — виброакустический силиконовый герметик; 3 — негорючая упругая прокладка из материала «Acoustic Wool»; 4 — гильза; 5 — вибродемпфирующий материал K-Flex ST; 6 — звукоизоляционная или звукопоглощающая облицовка; 7 — стена или перегородка.

Прокладка трубопроводов (воздуховодов) через стены и перегородки должна быть выполнена с применением виброразвязанных гильз. Для виброразвязки следует применять негорючие упругие прокладки из материала «AcousticWool». Стыки и промежутки между воздуховодами и гильзами необходимо герметизировать невысыхающим виброакустическим герметиком (рис.2.8, рис.2.9).

Трубопроводы и участки жестких воздуховодов рекомендуется виброизолировать материалом K-Flex ST из вспененного каучука. Трубную изоляцию рекомендуется крепить к поверхности трубопроводов с помощью специального клея.

Обычно вибрация распространяется в строительных конструкциях с относительно малым затуханием. Поэтому в первую очередь необходимо применять меры по снижению динамических нагрузок, создаваемых источником вибрации, или снижать передачу этих нагрузок путем виброизоляции машин.

Снижение вибрации в защищаемых помещениях может быть достигнуто целесообразным размещением оборудования в здании:

- инженерное оборудование (вентиляционные установки, кондиционеры, насосные установки, встроенные трансформаторы, лифтовые лебедки и т.п.) должно располагаться в отдельных изолированных помещениях, предпочтительно в подвальных или технических этажах зданий или на отдельных фундаментах, не связанных с каркасом здания;
- при установке оборудования на перекрытия желательно размещать его в местах, наиболее удаленных от защищаемых объектов. Если невозможно обеспечить достаточное снижение вибрации и шума, возникающих при работе центробежных машин, указанными методами, следует предусмотреть их виброизоляцию;
- помещения с инженерным оборудованием не должны примыкать к помещениям, требующим защиты от шума;
- лифтовые шахты следует располагать в лестничной клетке между лестничными маршами и с отделением шахты от конструкций здания;
- - встроенные лифтовые шахты могут примыкать к помещениям, не требующие защиты от шума (холлы, коридоры, кухни, санитарные узлы);
- лифтовая шахта независимо от планировочного решения должна иметь самостоятельный фундамент.
- трубопроводы систем водоснабжения и канализации, расположенные в шахтах не должны примыкать к помещениям, требующим защиты от шума.
- шахты мусоропроводов должны примыкать к помещениям, не требующим защиты от шума.

Виброизоляция агрегатов достигается за счет установки их на специальные виброизоляторы (упругие элементы, обладающие малой жесткостью), а также за счет применения гибких элементов (вставок) в системах трубопроводов и коммуникаций, соединенных с вибрирующим оборудованием, мягких прокладок для трубопроводов и коммуникаций в местах прохода их через ограждающие конструкции и в местах крепления к ограждающим конструкциям.

Для уменьшения вибрации, передающейся на несущую конструкцию, используют пружинные или резиновые виброизоляторы. Для агрегатов, имеющих скорость вращения менее 1800об/мин, рекомендуются пружинные виброизоляторы; при скорости вращения более 1800об/мин допускается применение резиновых виброизоляторов.

Следует иметь в виду, что срок работы резиновых виброизоляторов не превышает 3-х лет. Стальные виброизоляторы долговечны и надежны в работе, но они эффективны при виброизоляции низких частот и недостаточно снижают передачу вибрации более высоких частот (слухового диапазона), обусловленную внутренними резонансами пружинных элементов. Для устранения передачи высокочастотной вибрации следует применять резиновые или пробковые прокладки толщиной 10 — 20мм, располагая их между пружинами и несущей конструкцией. Машины с динамическими нагрузками (вентиляторы, насосы, компрессоры и т. п.) рекомендуется жестко монтировать на тяжелой бетонной плите или металлической раме, которая опирается на виброизоляторы. Использование тяжелой плиты уменьшает амплитуду колебаний агрегата, установленного на виброизоляторах. Кроме того, плита обеспечивает жесткую центровку с приводом и понижает расположение центра тяжести установки. Желательно, чтобы масса плиты была не меньше массы изолируемой машины.

2.2. Защита зданий от транспортной вибрации

Всё чаще из-за недостатка свободных площадей и необходимости обеспечения доступности транспортных потоков для населения крупных городов строительство жилых и общественных зданий производится вблизи железнодорожных линий, линий метрополитена и трамваев, дорог доступных для интенсивного движения грузовых автомашин. Такие здания, как правило, испытывают повышенное вибрационное воздействие, отражающееся на сохранении целостности как конструкций, так всего здания в целом, и могут стать причиной появления колебаний предельно высокого уровня и в конечном итоге их разрушению.

Государственными стандартами, в дополнении с Санитарными нормами и правилами установлены допустимые параметры для неблагоприятного внешнего воздействия на здание и, как следствие, человека. Применительно к вибрации эти правовые документы регулируют параметры допустимого уровня колебаний несущих и ограждающих конструкций для жилых, офисных, административных и других общественных зданий, а также рабочих мест персонала. Амплитуды колебаний ограничены несколькими микронами, диапазон частот которых от 1,4 до 88Гц.

Самыми неблагоприятными для жилых домов и общественных построек считаются вибрации, которые исходят от работы рельсовых транспортных сообщений: железная дорога, метрополитен, трамвайные линии. Исследования показали, что колебания по мере удаления

на различное расстояние от метрополитена затухают, однако это процесс немонотонный, он зависит от составных звеньев на пути распространения вибрации: рельс — стена тоннеля — грунт — фундамент дома - строительные конструкции. В тех случаях, когда здания располагаются в непосредственной близости от рельсовой дороги, вибрации в них могут превышать предельно-допустимые значения, установленные Санитарными нормами, в 10 раз (на 20дБ). В спектральном составе вибрации преобладают октавные полосы со среднегеометрическими частотами 31,5 и 63Гц.

На сегодняшний день защитная зона расположения железной дороги должна составлять 100м, для трамвайной линии подобная защитная зона — 60м от крайнего рельса дороги, для линий метрополитена — 40м по кратчайшему расстоянию до стенки тоннеля метрополитена. Однако, современные строительные технологии позволяют применить и другие меры для снижения динамики указанных выше вибрационных нагрузок. В число таких мер защиты зданий от вибрации входят:

- использование конструкций зданий и фундаментов,снижающих уровни проникающей вибрации;
- виброизоляция — применение упругих элементов, устанавливаемых в несущих конструкциях (стенах, колоннах), под фундаментной плитой или в конструкциях пола;
- демпфирование колебаний;
- применение экранирующих устройств (траншей) в грунте.

В условиях динамического воздействия наиболее эффективными конструкциями зданий являются конструкции из монолитного железобетона. По сравнению со зданиями из сборных железобетонных элементов они позволяют снизить уровни вибраций перекрытий на 5 — 8дБ. Это снижение обусловлено особенностями динамической работы монолитных конструкций, которые испытывают более «мягкие» резонансные явления, так как представляют собой не отдельные элементы, как в сборных зданиях, а сплошные разветвленные массивные тела. Наиболее приемлемой схемой здания в этом случае является колонный каркас, эффективность которого увеличивается с увеличением толщины плит перекрытий и уменьшением сечения колонн. В качестве фундамента всегда рекомендуется использовать сплошную монолитную железобетонную плиту, сглаживающую влияние неоднородностей грунтового основания и способствующую распределению, а значит снижению колебаний по площади фундамента.

Рис.2.10. При строительстве здания на ул. Русаковской маты Sylomer® (черного цвета) укладывались на горизонтальное бетонное основание в два слоя. Стыки матов соединены скотчем.

Монолитные здания при размещении в них административно-общественных помещений могут располагаться даже в непосредственной близости от тоннелей метро.

В качестве примеров можно привести административные здания, расположенные в Москве (рис.2.10, 2.11), в которых удалось обеспечить требования санитарных норм за счет:

- особенности конструкций (внешние стены здания выполнены из легких пенобетонных блоков толщиной 300мм и средней плотностью не более 600кг/м;
- исключения жесткого контакта внешних стен с вышележащими перекрытиями;
- установки виброизолирующего слоя из материала Sylomer® фирмы Getzner Werkstoffe GmbH (Австрия) между фундаментной плитой и консолями перекрытий подземной части в местах их контакта со стеной в грунте.

Рис.2.11. Виброизоляция жилого здания на 1_м Колобовском пер. выполнена на горизонтальных (черный и красный Sylomer®) и вертикальных (синий Sylomer®) поверхностях. На вертикальные поверхности материал приклеен к бетону двухкомпонентным клеем.

В тех случаях, когда конструктивных мероприятий оказывается недостаточно, может быть использован второй способ – виброизоляция. Этот способ имеет две разновидности. В первом случае виброизоляторы в виде резиновых и резинометаллических элементов или элементов на основе специальных эластомеров устанавливаются в горизонтальных деформационных швах под несущие стены и (или) колонны. Во втором случае упругий слой из специального эластомера укладывается на бетонную подготовку под фундаментную плиту.

В высоких зданиях на частотах выше f зоны (строительные конструкции), удаленные от виброизоляторов,за счет изменения фазы колебаний «динамически отключаются» от виброизоляторов, что приводит к нарушению настройки виброизолированной системы и выведению ее в область малоэффективной и даже неэффективной работы. При этом надо учитывать, что на высокие здания оказывают влияние и ветровые нагрузки, которые в конструкциях на податливом виброизолированном основании могут вызвать значительные низкочастотные колебания сооружения.

Примером такой виброизоляции является 6-ти этажное монолитное жилое здание, расположенное вблизи тоннелей глубокого заложения линии московского метрополитена, в котором для снижения вибраций, под фундаментную плиту и на боковые поверхности фундаментных стен со стороны грунта уложен специальный полиуретановый эластомер Sylomer®. В результате средняя эффективность виброизоляции по первому и второму этажам наиболее близкого к линии метро угла здания по сравнению с прогнозируемыми величинами составила: в октаве 31,5Гц — 5дБ (1,8 раза), в октаве 63Гц — 12,1дБ (4 раза).

В то же время в связи с недостаточной проработкой отдельных элементов и, как следствие, образованием акустических мостиков, в помещениях над возведенными впоследствии лестничными входами было отмечено некоторое относительное увеличение вибраций.

Рис.2.12. Конструкция «плавающего пола» включает деревянные лаги, под которые установлены прокладки из материала Sylomer® для жесткости на лагах устроен дощатый настил.

Одним из способов виброизоляции является также конструкция «плавающего пола» (рис.2.12, 2.13), в том числе, на деревянных лагах и железобетонных плитах. Эти конструкции работают по тому же принципу, что и здания на виброизоляторах. Как показывает практика, при частоте настройки 8 — 10Гц «плавающий пол» в силу своей более

простой схемы, а значит, более точной настройки способен обеспечить более высокую эффективность, чем установка зданий на виброизоляторы.

Рис.2.13. Виброизоляция лаги, примыкающей к вертикальной конструкции, выполняется материалом Sylomer® с двух сторон.

Недостатком «плавающего пола» является малое снижение уровней структурного шума, из-за чего может потребоваться дополнительная акустическая обработка помещений. В тоже время установка «плавающего пола» практически единственный способ снижения вибраций в высотных сооружениях и реконструируемых зданиях, где производится замена старых перекрытий на железобетонные с сохранением несущих стен.

Виброзащита с применением «плавающего пола была применена в реконструируемых жилых домах, расположенных на расстоянии 7м от тоннелей мелкого заложения линии московского метрополитена. Конструкция пола представляла собой деревянные лаги, под которыми были установлены прокладки из материала Sylomer® толщиной 50мм. На лаги для увеличения жесткости укладывался дощатый настил толщиной 40мм и верхнее покрытие в виде древесноволокнистых плит и линолеума. Расчет упругих прокладок выполнялся на нагрузку 190кгс/м^2 (собственная нагрузка пола — 40кгс/м^2 и нормативная полез-

ная нагрузка — 150кгс/м^2). Расчетная частота настройки виброизолированной системы составила 8 — 9Гц. Контрольные замеры вибраций при отсутствии полезной нагрузки в помещениях и пригрузе места измерений человеком составила в октаве со среднегеометрической частотой 31,5Гц около 10дБ. Нужно пояснить, что Sylomer® — это современный полиуретановый материал, разработанный и выпускаемый ьфирмой Getzner Werkstoffe GmbH, используемый для виброизоляции зданий, железнодорожных путей, машин и оборудования. Фирма имеет 30 летний опыт виброизоляции зданий и железнодорожных линий и выпускает несколько различных видов материалов, имеющих высокие показатели коэффициента потерь и способных воспринимать высокие динамические и статические нагрузки при продолжительном сроке эксплуатации. Этими материалами в настоящее время виброизолировано более 300 зданий в различных странах мира.

Поскольку основной вклад в вибрации перекрытий вносят собственные колебания, и особенно, колебания на первой собственной частоте, одним из направлений их снижения является демпфирование. Так как резонанс представляет собой процесс, при котором упругие силы компенсируются инерционными силами, размах колебаний перекрытий на собственных частотах определяется исключительно показателями внутреннего трения. Для снижения резонансных колебаний могут использоваться конструкционные материалы с высокими коэффициентами потерь. Замечено, что резонансные колебания перекрытий с уложенной на них цементной стяжкой и полом из керамической плитки, в монолитных зданиях снижаются до 5дБ, а в панельных домах — до 7дБ. Также отмечено, что уложенные на перекрытие мешки с порошкообразным материалом (панельный дом серии П44), практически полностью демпфируют резонансные колебания. Поскольку демпфирование колебаний строительных конструкций и демпфирующие свойства строительных материалов мало изучены, в настоящее время трудно рекомендовать какое-либо надежное средство снижения вибраций. Возможно, в случае цементной стяжки важную роль играет поверхностное трение, которое возникает в так называемом «холодном» шве.

Суть экранирующего устройства в грунте заключается во введении в грунтовый массив существенной неоднородности, обеспечивающей отражение волн, распространяющихся от поверхностного или мелко заглубленного транспортного источника. Расчеты экранирующих траншей, выполненные в институте транспортного строительства (ныне ОАО «ЦНИИС») при разработке технического задания по виброзащите жилых зданий, расположенных вблизи тоннеля мелкого заложения на одном из участком Московского метрополитена показали,

что максимальная эффективность траншеи, заполненной вспененным полистиролом для скорости продольной волны 600м/с, составляет в октаве 31,5Гц около 6дБ (2 раза). Учитывая высокую стоимость сооружения экрана, а также необходимость в большинстве случаев перекладки подземных коммуникаций, этот способ в современных условиях городского строительства не находит применения.

В зарубежной практике используется также метод виброизоляции зданий с помощью пневматических виброизоляторов.

Указанные выше защитные способы в каждом конкретном случае имеют достоинства и недостатки. Например, виброизоляция зданий типовых серий из сборного железобетона может выполняться только путем снижения колебаний в источнике или на пути распространения волн в грунтовой среде. Виброизоляция реконструируемых зданий, как правило, обеспечивается конструктивными мероприятиями - применением соответствующей схемы несущего каркаса и назначением жесткостей конструктивных элементов. В зданиях высотой 20 и более этажей снижение вибраций осуществляется за счет использования монолитного каркаса. Здания небольшой и средней этажности, имеющие жесткий каркас, изолируются упругими элементами и так далее.

Движение поездов вызывает колебания, которые через почву могут передаваться в прилегающие здания и ощущаться в них. Возбуждающиеся при этом в элементах зданий и предметах колебания могут приводить к возникновению вибрации и слышимого вторичного воздушного шума. В зависимости от интенсивности и длительности воздействия эти вибрация и шум оказывает сильное отрицательное влияние на людей в зоне действия. Существует множество возможных решений по снижению структурного шума в месте возникновения, т.е., в случае городского подземного транспорта, в верхнем строении пути. Эти решения включают, например, применение высокоупругих прокладок для рельсовых креплений, подбалластных матов, упругих опор для пути на плитах и с балластным корытом, так называемые системы «масса — пружина». Системы «масса — пружина» применяются при предъявлении самых жестких требований к защите от структурных шумов, и при наличии конструктивных возможностей реализации.

За последние десятилетия разработано множество вариантов конструкций системы «масса-пружина». Известны конструкции из монолитного бетона или из готовых бетонных элементов, комбинации этих двух типов, с щебёночным балластом или без него. При проектировании упругой опоры для систем «масса-пружина» выбранное конструктивное решение является критическим фактором.

Различают три основных конструктивных решения этих систем:

- полноповерхностная опора;
- ленточная опора;
- точечная опора.

Опыт применения в многочисленных проектах в течение десятилетий показал преимущества материала SYLOMER®, созданного фирмой Getzner для удовлетворения специальным требованиям с гарантированной эффективностью. Благодаря постоянным усилиям по развитию и улучшению этого материала было создано новое поколение высокоэффективных эластомеров: материалы SYLODYN®.

Оба материала при использовании в качестве упругих опор для пути на плитах или с балластным корытом обеспечивают исключительные преимущества:

- надёжные, однородные и долговременные упругие свойства;
- устойчивость к кратковременной экстремальной перегрузке;
- простота применения в условиях строительных допусков;
- адаптируемость к любым областям применения путем варьирования плотности материала, толщины и площади упругой опоры.

SYLOMER® и SYLODYN® — идеальные материалы для упругих опор в системе "масса — пружина" любых типов конструкций.

Рис.2.14. Полноповерхностные опоры

В зависимости от области применения полноповерхностные конструкции упругих опор (рис.2.14) обеспечивают снижение собственных частот до 15Гц на городских трамвайных линиях и до 25Гц на широколейных железных дорогах — минимальных значений собственных частот верхнего строения пути. Это соответствует изоляции структурных шумов до 20дБ в диапазоне сверхкритических частот.

Преимуществами полноповерхностной конструкции упругой опоры являются:

- простой и быстрый способ строительства;
- низкая вероятность строительных дефектов;
- перераспределении нагрузок в основание на максимальной площади;
- гашение вибрации несущих элементов рельсового пути;
- экономичность системы в целом.

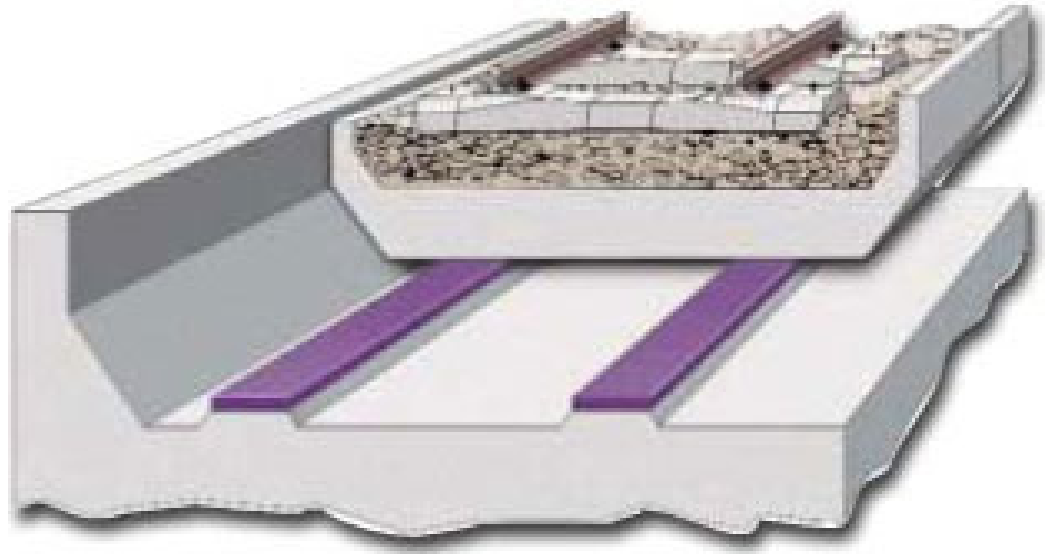


Рис.2.15. Ленточные опоры

Ленточные опоры (рис.2.15) применяются преимущественно в системах "масса — пружина", выполняемых в виде конструкций из готовых элементов или комбинированных конструкций готовых элементов и монолитного бетона. Возникающие при движении поезда горизонтально направленные воздействия как по оси пути (силы торможения и ускорения), так и перпендикулярно оси пути (центробежные и секущие силы) эффективно компенсируются за счет относительно большой площади опор.

При реализации ленточной опоры можно достичь меньших значений собственных частот верхнего строения пути (в сравнении с полноплоскостной опорой) при оправданно меньших затратах. Конечным результатом является лучшая изоляция структурных шумов.

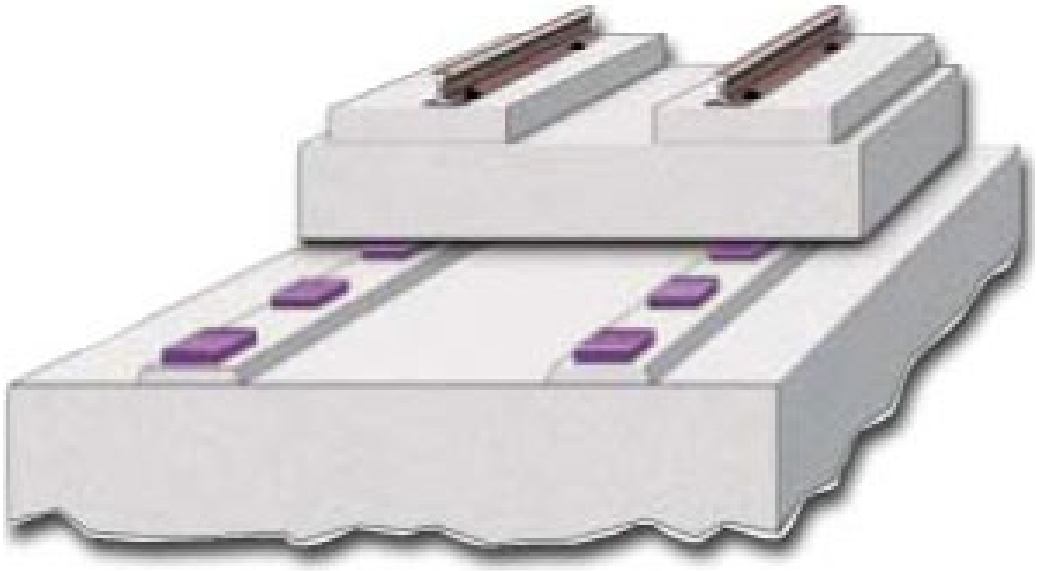


Рис.2.16. Точечные опоры

Применение точечных опор (рис.2.16) необходимо при определенных конструктивных формах плит или балластных корыт. Готовые плиты или плиты, изготовленные на месте из монолитного бетона (после отвердения), приподнимают, и упругие опоры вставляются через специальные установочные отверстия. Так как площадь опоры относительно мала, то особое внимание необходимо уделить горизонтальным силам, возникающим при движении поезда. Для ограничения горизонтальных сдвигов в соответствии с заданными параметрами необходимо найти оптимальное соотношение между модулем сдвига, эластичностью материала, толщиной и площадью опоры.

Использование точечных опор позволяет достичь самых низких собственных частот и обеспечить максимальную защиту от структурных шумов. При использовании систем такого типа без проблем достигается изоляция от структурных шумов в 30дБ и более.

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Задача 3.1. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест, если виброизоляторы пружинные; виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью 10т; общий вес Q = 13860Н, в том числе подвижных частей $Q_{п.ч.}$ = 11300Н, частота колебаний f = 50Гц; максимальный кинематический момент дебалансов M = 5200Н/см; амплитуда колебаний виброплатформы a = 0,5мм; размер виброплатформы 6 × 2,2м; грунт – песок мелкий, маловлажный.

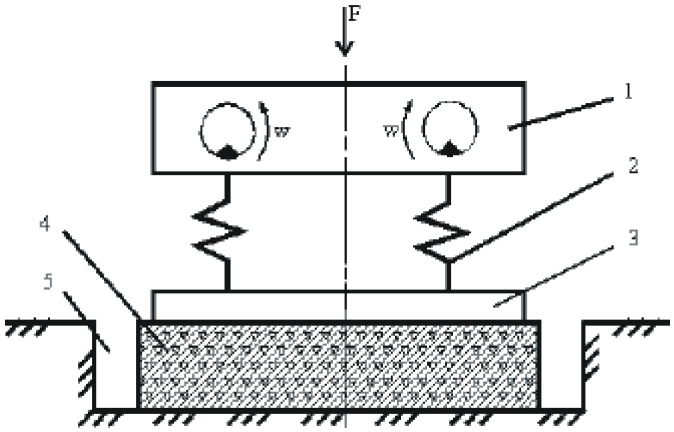


Рис.3.1. Схема установки виброплощадки с пружинными виброизоляторами: 1 — подвижная часть виброплощадки; 2 — пружинный виброизолятор; 3 — неподвижная часть виброплощадки; 4 — виброгасящее основание (фундамент); 5 — акустический шов

Порядок расчета

1. Определяется динамическая сила H, создаваемая дебалансами вибраторов:

$$F = \frac{M\omega^2}{g}, \text{ Н} \qquad (3.1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота вибраторов, с$^{-2}$,

$$F = \frac{5200(2 \cdot 3{,}14 \cdot 50)^2}{981} = 522629 \text{ Н.}$$

2. Определяется суммарная жесткость пружинных виброизоляторов:

$$K = \frac{Q_{п.ч.}}{X_{ст}}, \text{ Н/м}, \qquad (3.2)$$

где $X_{ст}$ принимается равным 0,5 см,

$$K = \frac{11300}{0,005} = 2260000 \text{ Н/м.}$$

3. Определяется собственная частота колебаний:

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{X_{ст}}}, \text{ Гц} \qquad (3.3)$$

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{0,5}} = 7,05 \text{ Гц.}$$

4.Определяется коэффициент передачи:

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1\right]} \qquad (3.4)$$

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{50}{7,5}\right)^2 - 1\right]} = \frac{1}{49}.$$

5. Определяется динамическая сила, передаваемая на основание:

$$F_0 = \frac{F}{\mu}, \text{ Н} \qquad (3.5)$$

$$F_0 = \frac{522629}{49} = 10666 \text{ Н.}$$

6. Для расчета амплитуды перемещений основания виброплощадки $a_ф$ определяются:

- минимальная площадь основания виброплощадки:

$$S_0 = \frac{Q}{R}, \text{ см}^2, \qquad (3.6)$$

где R = 2·10^5 Па – допустимое нормативное давление на грунт условного фундамента (табл. 3.1),

$$S_o = \frac{128600}{2 \cdot 10^5} = 6430 \text{ см}^2;$$

- жесткость основания под виброплощадкой:

$$K_ф = S_0 \cdot C_z, \text{ Н/м}, \qquad (3.7)$$

где C_z = 40 Н/см^3 – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта (табл.3.2)

$$K_ф = 6430 \cdot 40 \text{ Н/м;}$$

Таблица 3.1

Допустимые нормативные давления на грунт

Наименование и состояние грунта	**Дополнительное нормативное давление, $2 \cdot 10^5$ Па**
Пески независимо от влажности: •крупные; •средней крупности	 3,5 … 4,5 2,5 … 3,5
Пески мелкие: • маловлажные; • насыщенные водой	 2,0 ... 3,0 2,5 ... 4,5
Пески пылевлажные: • маловлажные; • очень влажные; • насыщенные водой	 2,0 ... 2,5 1,5 … 2,0 1,0 ... 1,5
Супеси при коэффициенте пористости K : •0,5; •0,7	 3,0 2,0
Суглинки при коэффициенте пористости K : • 0,5; • 0,7; • 1,0	 2,5 ... 3,0 1,8 ... 2,5 1,0 … 2,0

Таблица 3.2.

Основные характеристики грунтов

Нормативное давление R на основание условного фундамента, $1 \cdot 10^5$ Па	**Коэффициент упругого равномерного сжатия C_z, Н/см^2**
1	20
2	40
3	50
4	60
5	70

- собственная частота колебаний основания виброплощадки:

$$f_ф = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K_ф}{m_0}}, \text{ Гц}, \qquad (3.8)$$

где $m_0 = \dfrac{Q - Q_{п.ч.}}{g}$

$$f_0 = \frac{1}{6,28}\sqrt{\frac{257200 \cdot 981}{2560}} = 15,8, \text{ Гц.}$$

7. Определяется амплитуда перемещений основания виброплощадки, см:

$$a_ф = \frac{F_0}{K_ф\left(\dfrac{f^2}{f_ф^2} - 1\right)}, \text{ см}, \qquad (3.9)$$

$$a_ф = \frac{10666}{257200\left(\dfrac{50^2}{15,8^2} - 1\right)} = 0,0046см = 0,046мм \succ a_{доп} = 0,009мм.$$

Допустимое значение вибросмещения $a_{доп}$ определяется для частоты гармонической составляющей 50 Гц интерполяцией по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Допустимые значения амплитуды вибросмещения

Частота гармонической составляющей, Гц	Амплитуда виброперемещения $a_{доп}$, мм	
	с вибрирующими установками	без вибрирующих установок
2	1,4	0,57
4	0,25	0,1
8	0,063	0,025
16	0,0282	0,0112
31,5	0,0141	0,0056
63	0,0072	0,0028

При применении только пружинных виброизоляторов амплитуда перемещений основания превышает допустимые уровни. Для их снижения требуется устройство виброгасящего основания (фундамента).

8. Для виброплощадок с вертикально направленными колебаниями минимально необходимый вес фундамента, при котором колебания не будут превышать допустимых, определяется по формуле:

$$Q_ф = \frac{g \cdot (a \cdot K + K_ф \cdot a_ф)}{a_ф \cdot \omega^2} - Q_0, \text{ Н}, \qquad (3.10)$$

где $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 314 c^{-1}$ – угловая частота колебаний; Q_0 – вес неподвижной части (основания) виброплощадки, Н.

Для виброплощадок, работающих с частотой не ниже 3000 кол/мин, вес фундамента определяется по формуле:

$$Q_ф = 1{,}1 ... 1{,}2 \frac{g \cdot a \cdot K}{a_ф \omega^2}, \text{ Н}, \qquad (3.11)$$

$$Q_ф = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}0005 \cdot 22600000}{0{,}000009 \cdot 314^2} = 137416 \text{ Н}.$$

Принимаем вес фундамента $Q_ф = 140000$ Н.

9. Определяется собственная частота колебаний фундамента :

$$f_ф = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{K_ф \cdot g}{m_ф}, \text{ Гц}, \qquad (3.12)$$

где $m_ф = \frac{Q_ф + Q_0}{g}$;

$$f_ф = \frac{1}{6 \cdot 28} \cdot \frac{257200 \cdot 981}{165600} = 6{,}22 \text{ Гц}.$$

10. Амплитуда перемещения фундамента определяеся по формуле (3.9):

$$a_ф = \frac{10666}{257200\left(\frac{50^2}{6{,}22} - 1\right)} = 0{,}0065 \text{ мм} \prec a_{доп} = 0{,}009 \text{ мм}.$$

Вывод. При применении пружинных виброизоляторов и виброгасящего основания амплитуда перемещений фундамента не превышает допустимой величины.

Задача 3.2. Определить какая часть динамических сил от вибрации частотой 100Гц, создающейся электродвигателем, будет изолирована прокладкой из резины средней жесткости толщиной 5см.

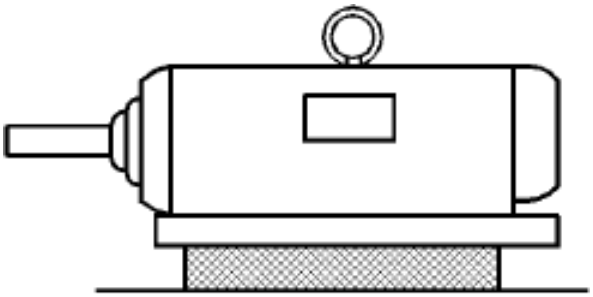


Рис.3.2. Схема виброизоляции электродвигателя на резиновой прокладке

Порядок расчета

1. Определяется статическая осадка амортизаторов:

$$X_{ст} = 0{,}015\,h, см, \qquad (3.13)$$

$$X_{ст} = 0{,}015 \cdot 5 = 0{,}075\,см.$$

2. Определяется число оборотов электродвигателя:

$$n = f \cdot 60, \text{ об/мин} \qquad (3.14)$$

$$n = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ об/мин}$$

3. Определяется коэффициент виброизоляции:

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{ст} n^2}, \qquad (3.15)$$

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{0{,}075 \cdot 6000^2} \approx 3\%.$$

Вывод. Прокладкой из резины толщиной 5см примерно 3% динамических сил от вибрации частотой 100Гц будет передано основанию, а 97% — изолировано.

Задача 3.3. Рассчитать виброизоляцию электродвигателя весом 1000 Н с числом оборотов n=3000 об/мин.

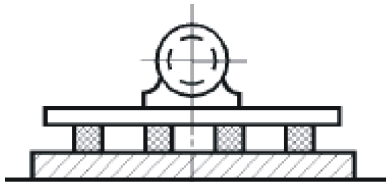


Рис. 3.3.Схема виброизоляции на резиновых прокладках

Порядок расчета

1. Вес фундамента принимается в 4 раза больше веса электродвигателя. Тогда общий вес будет равен 5000 Н.

2. Определяется основная частота

$$f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Гц.} \qquad (3.16)$$

3. В качестве прокладок выбирается резина средней жесткости (табл.3.4).

Таблица 3.4

Характеристика резины, используемой для виброизоляторов

Марка резины	Модуль упругости, $1 \cdot 10^5$ Па		Коэффициент неупругого сопротивления, ν
	динамический $E_д$	статический $E_{ст}$	
ИРП-1347	54	33	0,09
2566	38	24	0,11
СУ-363	153	51	0,15
8508	126	31	0,15
4326	226	60	0,16
Н068	166	39	0,17
199	196	40	0,208
122	206	73	0,21
9831	166	36	0,25
3826	236	46	0,30
25424	314	46,5	0,32
3311	250	16	0,038
2959	63	30	0,14
56	72	37	0,16

4. Определяется статическая осадка резиновых прокладок:

$$X_{ст} = h\frac{\sigma}{E_д}, \text{ см}, \qquad (3.17)$$

где h – толщина прокладки (принимаем h = 6 см),

$$X_{ст} = 0{,}015 \cdot 6 = 0{,}09 \text{ см}.$$

5. Определяется частота колебаний установки на амортизаторах по формуле (3.3):

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{0{,}09}} = 17 \text{ Гц}.$$

Таким образом, $f_0 = 17\,Гц \prec 50\,Гц$ почти в 3 раза.

6. Определяется коэффициент виброизоляции:

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{X_{ст} n^2}, \qquad (3.18)$$

$$k = \frac{9 \cdot 10^6}{0{,}015 \cdot 3000^2} = 11\%.$$

7. Определяется площадь всех прокладок под агрегат:

$$S = \frac{P}{\sigma}, \text{ см}^2, \qquad (3.19)$$

где σ – допустимое напряжение для резины средней жесткости, Н/см^2,

$$S = \frac{5000}{30} = 166 \text{ см}^2.$$

Принимаются 8 резиновых прокладок площадью:

$$S_п = \frac{166}{8} \approx 20 \text{ см}^2$$

с размерами 4х 5см.

Вывод: Расчет показывает, что увеличение высоты прокладки ведет к повышению статической осадки $X_{ст}$ и снижению резонансной частоты f_0.

Задача 3.4. Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, если вес установки P = 1300кгс, частота вращения вала электродвигателя n = 850об/мин., количество виброизоляторов (с одной пружиной) N = 4шт., допустимая амплитуда смещения a_z = 0,12мм.

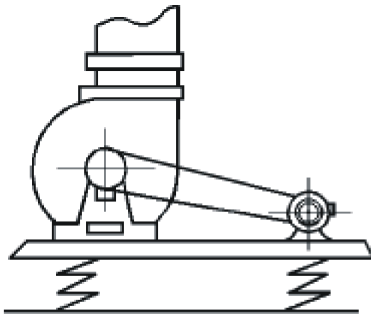


Рис.3.4. Схема виброизоляции вентиляционной установки с помощью пружинных амортизаторов

Порядок расчета

1. Принимаются: соотношение вынужденных и собственных колебаний равное 4, допустимое напряжение на кручение $[\tau]$ = 4,2·10^{3}кгс/см^2, модуль сдвига σ = 8·10^{5}кгс/см^2; индекс пружины c = 4, коэффициент k_p = 1,4.

2. Определяется частота вынужденных колебаний:

$$f = \frac{n}{60}, \text{ Гц;} \qquad (3.20)$$

$$f = \frac{850}{60} = 14,2 \text{ Гц.}$$

3. Частота собственных колебаний определяется исходя из принятого условия, что $f / f_0 = 4$:

$$f_0 = \frac{f}{4}, \text{ Гц;} \qquad (3.21)$$

$$f_0 = \frac{14,2}{4} = 3,6 \text{ Гц.}$$

4. Суммарная жесткость виброизоляторов определяется по формуле:

$$K_z = mf_0^2, \text{ Н/см,} \qquad (3.22)$$

где m – масса фундамента с установкой определяется по формуле:

$$m = \frac{P}{g}, \text{ Н;} \qquad (3.23)$$

$$m = \frac{1300}{9,8} = 1327 \text{ Н;}$$

$$K_z = 1327 \cdot 3,6^2 = 17198 \text{ Н/см.}$$

5. Определяется жесткость одной пружины:

$$K_z^1 = \frac{K_z}{4}, \text{ Н/см;} \qquad (3.24)$$

$$K_z^1 = \frac{17198}{4} = 4299,5 \text{ Н/см.}$$

6. Определяется динамическая нагрузка на одну пружину в рабочем режиме изолируемого устройства:

$$P_{дин}^1 = a_z K_z^1, \text{ Н;} \qquad (3.25)$$

$$P_{дин}^1 = 0,012 \cdot 4299,5 = 51,6 \text{ Н.}$$

7. Расчетная нагрузка на одну пружину определяется по формуле:

$$P_z^1 = \frac{P}{n} + 1,5 \cdot K_z^1 \cdot (V_0 + V), \text{ Н,} \qquad (3.26)$$

где V_0 – среднеквадратичная виброскорость рабочего места (V_0= 0,002 м/с); V – среднеквадратичная виброскорость основания виброплощадки (V = 0,09 м/с);

$$P_z^1 = \frac{13000}{4} + 1,5 \cdot 4299,5(0,002 + 0,09) = 3843 \text{ Н.}$$

8. Диаметр проволоки цилиндрических винтовых пружин определяется по формуле:

$$d = 1,6\sqrt{\frac{k_p P_z^1 C}{[\tau]}}, \text{ см,} \qquad (3.27)$$

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{1{,}4 \cdot 3843 \cdot 4}{4{,}2 \cdot 10^3}} = 3{,}5 \text{, см.}$$

9. Определяется число витков пружины:

$$i = \frac{\sigma d}{8c^3 K_z^1}; \qquad (3.28)$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 3{,}5}{8 \cdot 4^3 \cdot 4299{,}5} = 13.$$

10. Определяется полное число витков пружин:

- при $i \prec 7 \;\; i_п = i + 1{,}5$;

- при $i \succ 7 \;\; i_п = i + 2{,}5$

$$i_п = 13 + 2{,}5 = 15{,}5.$$

11. Определяется высота пружины:

$$H = (i_п - 0{,}4) \cdot d \text{, см;} \qquad (3.29)$$

$$H = (15{,}5 - 0{,}4) \cdot 3{,}5 = 53 \text{ см.}$$

12. Рассчитывается коэффициент передачи виброизоляции по формуле (3.4):

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1\right]};$$

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{14{,}2}{3{,}6}\right)^2 - 1\right]} = \frac{1}{14}.$$

Вывод. Так как отношение $f / f_0 \succ 1{,}4$, устройство виброизоляции обладает защитными свойствами.

Задача 3.5. Рассчитать пассивную виброизоляцию под вентиляторную установку и ее эффективность, если масса установки P = 260кгс; частота вращения вала электродвигателя n = 850об/мин; расчетная амплитуда вертикальных колебаний установки a_z = 0,0028мм; виброизоляторы выполнены из четырех одинарных пружин с размещением между пружинами и несущей конструкцией резиновых прокладок (при расчете их влияние не учитывается); допускаемое напряжение на кручение для пружинной стали $[\tau]$ = 4,2·10^{3}кгс/см^2; модуль сдвига σ = 8·10^{5}кгс/см^2; индекс C = 4; k_p = 1,4.

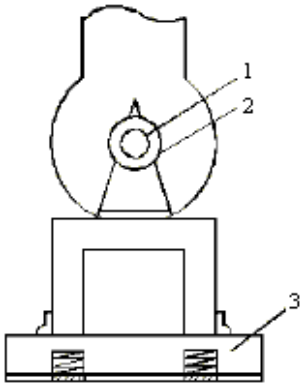


Рис. 3.5. Схема вентиляционной установки: 1 — электродвигатель; 2 — воздуховод; 3 – основание установки

Порядок расчета

1. Принимается отношение $f / f_0 = 3$.

2. Определяется частота вынужденных колебаний по формуле (3.20):

$$f = \frac{n}{60}, \text{ Гц}$$

$$f = \frac{850}{60} = 14 \text{ Гц.}$$

3. Исходя из отношения $f / f_0 = 3$, по формуле (3.21) определяется частота собственных колебаний:

$$f_0 = \frac{f}{3}, \text{ Гц;}$$

$$f_0 = \frac{14}{3} = 4{,}7 \text{ Гц.}$$

4. Определяется общая жесткость пружин:

$$K_z = \frac{Pf_0^2}{25}, \text{ кгс/см;} \qquad (3.30)$$

$$K_z = \frac{260 \cdot 4,7^2}{25} = 229 \text{ кгс/см.}$$

5. Определяется статический прогиб:

$$X_{ст} = \frac{P}{K_z}, \text{ см;} \qquad (3.31)$$

$$X_{ст} = \frac{260}{229} = 1,14 \text{ см.}$$

6. Определяется диаметр проволоки цилиндрических пружин:

$$d = 1,6\sqrt{\frac{k_p P^1 C}{[\tau]}}, \text{ см,}$$

где P^1 – расчетная нагрузка на одну пружину определяется по формуле:

$$P^1 = P_{ст} + 1,5 \cdot a_z \cdot K_z^1, \text{ кгс,}$$

так как:

$$P_{ст} = \frac{P}{4} = \frac{260}{4} = 65 \text{ кгс;} \qquad K_z^1 = \frac{K_z}{4} = \frac{229}{4} = 57,25 \text{ кгс/см,}$$

то

$$P^1 = 65 + 1,5 \cdot 0,0028 \cdot 57,25 = 65 + 24 = 89 \text{ кгс,}$$

$$d = 1,6\sqrt{\frac{1,4(65 + 24)4}{4,2 \cdot 10^3}} = 0,47 \text{ см.}$$

7. Определяется число витков пружины по формуле (3.28):

$$i = \frac{\sigma d}{8c^3 K_z^1};$$

$$i = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,5}{8 \cdot 4^3 \cdot 57,25} = 13,64,$$

где d – принимается равным 0,5см.

8. Рассчитывается полное число витков пружины :

- при $i \prec 7 \quad i_п = i + 1,5$;

- при $i \succ 7 \quad i_п = i + 2,5$,

$$i_п = 13,64 + 2,5 = 16,14.$$

9. Определяется высота пружины, сжатая до соприкосновения витков:

$$H = (i_п - 0,4) \cdot d, \text{ см};$$

$$H = (16,14 - 0,4) \cdot 0,5 = 7,87 \text{ см}.$$

10. Коэффициент передачи определяется по формуле (3.4) :

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1\right]};$$

$$\mu = \frac{1}{\left[\left(\frac{14,7}{4,7}\right)^2 - 1\right]} = 0,125.$$

11. Определяется эффективность виброизоляции по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{\mu}, \text{ дБ}; \qquad (3.32)$$

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{0,125} = 18 \text{ дБ}.$$

Вывод. Вибрация установки 18 дБ не превысит техническую норму.

Задача 3.6. Определить, на сколько децибел улучшится виброизоляция на частоте вращения вентилятора f, если жесткость амортизаторов уменьшить вдвое. Вентиляционная установка закреплена с помощью амортизаторов на перекрытии складского помещения. Статический прогиб амортизаторов $X_{ст}$ = 5мм.

Порядок расчета

1. Эффективность виброизоляции определяется по формуле:

$$\Delta L = 20\,lg\,\frac{1}{\mu}, \text{ дБ},$$

при $f\,/\,f_0 = 3$

$$\Delta L = 20\,lg\left(\frac{f}{f_0}\right)^2, \text{ дБ}. \qquad (3.33)$$

2. Рассчитывается разность:

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20\,lg\left(\frac{f}{f_{01}}\right)^2 - 20\,lg\left(\frac{f}{f_{02}}\right)^2, \text{ дБ}. \qquad (3.34)$$

3. С учетом, что $X_{ст\,2} = 2\,X_{ст1}$ (по условию) и $f_0 = 5\,/\,\sqrt{X_{ст}}$, ΔL_2 определяется по формуле (3.34):

$$\Delta L_2 - \Delta L_1 = 20\,lg\left(\frac{f\sqrt{2\cdot 5}}{5}\right)^2 - 20\,lg\left(\frac{f\sqrt{5}}{5}\right)^2 = 20\,lg\,2 = 6 \text{ дБ}.$$

Вывод. Таким образом, виброизоляция на основной частоте вращения вентиляционной установки улучшится на 6 дБ.

Задача 3.7. Дизель-генератор массой m = 2000кгс установлен на шести резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью K_z = 18·10^{5}Н/м; частота вращения вала установки n = 750об/мин. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями.

Порядок расчета

1. Определяется круговая частота вынужденных колебаний:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n}{60}, \text{ с}^{-1}, \qquad (3.35)$$

$$\omega = 2 \cdot 3{,}14 \frac{750}{60} = 78{,}5 \text{ с}^{-1}.$$

2. Рассчитывается статическая осадка амортизаторов установки:

$$X_{ст} = \frac{mg}{K_z}, \text{ м}, \qquad (3.36)$$

$$X_{ст} = \frac{2000 \cdot 9{,}81}{18 \cdot 10^5} = 0{,}011 \text{ м}.$$

3. Круговая частота собственных колебаний установки на амортизаторах определяется по формуле:

$$\omega_0 = 2\pi \frac{0{,}5}{\sqrt{X_{ст}}} \approx 30 \text{ с}^{-1}. \qquad (3.37)$$

4.Определяется максимальная амплитуда колебаний, если $\sin \omega t = 1$:

$$a = X_{ст}\left(\frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}\right), \text{ м}, \qquad (3.38)$$

$$a = 0{,}011\left(\frac{1}{1-\frac{78{,}5^2}{30_0^2}}\right) = 0{,}0019 \text{ м.}$$

5. Определяется частота вынужденных колебаний из условия $\omega = 2\pi f$:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ Гц,} \qquad (3.39)$$

$$f = \frac{78{,}5}{2 \cdot 3{,}14} = 12{,}5 \text{ Гц.}$$

6. Ближайшая к частоте 12,5 Гц стандартная среднегеометрическая частота $f_{ср.ч.}$ = 16 Гц.

Нижняя граничная частота, Гц, октавы определяется по формуле:

$$f_н = \frac{f_{ср.ч.}}{1{,}41} = \frac{16}{1{,}41} = 11{,}35 \text{ Гц.} \qquad (3.40)$$

Верхняя граничная частота, Гц,

$$f_в = 2f_н = 2 \cdot 11{,}35 = 22{,}7 \text{ Гц.} \qquad (3.41)$$

7. Оценка вибрации, таким образом, будет выполняться для октавной полосы с $f_{ср.ч.}$ = 16 Гц. Для этого находится значение виброскорости по формуле:

$$V = 2\pi fa = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 12{,}5 \cdot 0{,}0019 = 0{,}149 \text{ м/с.} \qquad (3.42)$$

Уровень виброскорости определяется по формуле:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{V}{V_0} = 20 \lg \frac{0{,}149}{5 \cdot 10^{-8}} = 129 \text{ дБ.} \qquad (3.43)$$

Вывод. Согласно расчетам фактические параметры превышают допустимые на 37 дБ при 16 Гц.

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Задание 4.1. Рассчитать пассивную виброизоляцию рабочего места оператора с обеспечением допустимых параметров вибрации по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 (см. приложение 2). Рабочее место размещено на виброизолируемой железобетонной плите размерами 1,5×1,0×0,1м (рис.4.1). Расчетный вес оператора $Q_{ч.}$ = 800Н. Допустимая для частоты вынужденных колебаний f = 63Гц виброскорость рабочего места составляет $V_{доп.}$ = 0,002м/с. Виброизоляторы – металлические пружины. Варианты исходных данных приведены в табл.4.1

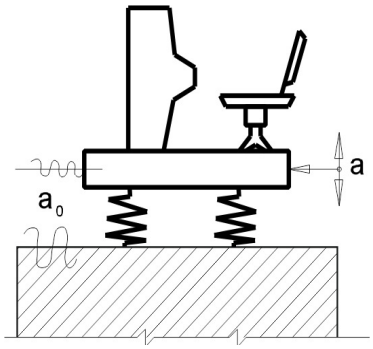


Рис. 4.1. Расчетная схема пассивной виброизоляции рабочего места оператора

Таблица 4.1

Исходные данные к заданию 4.1

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во пружин, n	шт.	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8
Виброскорость, V	м/с	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1
Вес плиты. $Q_{пл.}$	Н	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400

Указания к решению

1. Определяется общий вес виброизолируемого рабочего места оператора:

$$Q = Q_{ч.} + Q_{пл}, \text{ Н}, \qquad (4.1)$$

где $Q_{ч.}$ – вес оператора, Н; $Q_{пл}$ – вес железобетонной плиты, Н.

2. Определяется коэффициент передачи для создания на виброизолированной плите удовлетворительных вибрационных условий:

$$\mu = \frac{V_{доп}}{V}. \qquad (4.2)$$

3. Определяется частота свободных вертикальных колебаний виброизолированного рабочего места:

$$f_0 = \frac{f}{\left(\sqrt{\frac{1}{\mu}} + 1\right)}, \text{ Гц}, \qquad (4.3)$$

где f – частота вынужденных колебаний, Гц.

4. Исходя из условия, что

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{X_{ст}}}, \text{ Гц}, \qquad (4.4)$$

определяется статическая деформация пружинных виброизоляторов по формуле:

$$X_{ст} = \left(\frac{5}{f_0}\right)^2, \text{ см}. \qquad (4.5)$$

5. Определяется суммарная жесткость пружинных виброизоляторов по формуле :

$$K_c = \frac{Q}{X_{ст}}, \text{ Н/см}. \qquad (4.6)$$

6. Определяется жесткость одного виброизолятора при заданном числе пружин n:

$$K_n = \frac{K_c}{n}, \text{ Н/см.} \qquad (4.7)$$

7. Определяется расчетная нагрузка на один пружинный виброизолятор:

$$P = \frac{Q}{n}, \text{ Н.} \qquad (4.8)$$

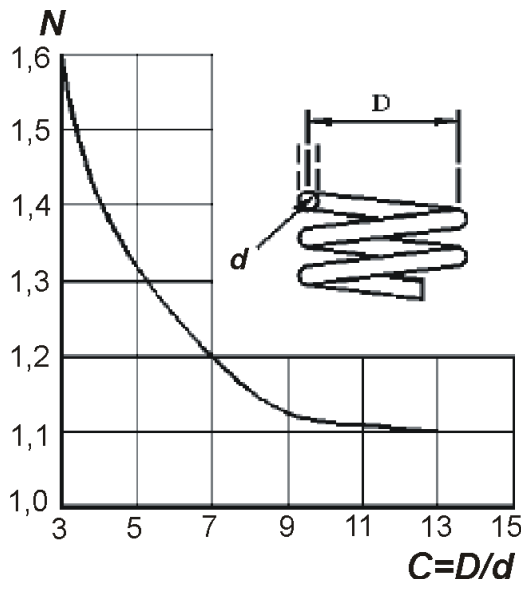


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента N *от индекса пружины* $C = \frac{D}{d}$

8. Выполняется расчет параметров пружинных виброизоляторов в следующей последовательности:

– диаметр проволоки для изготовления пружин определяется по формуле:

$$d = 1{,}6\sqrt{\frac{N \cdot P \cdot C}{[\tau]}}, \text{ см,} \qquad (4.9)$$

где N – коэффициент, определяемый по графику (рис. 4.2); $C = \frac{D}{d} = 7$ – отношение диаметра пружин к диаметру проволоки (рекомендуется принимать в пределах 4...10); $[\tau]$ – допускаемое напря-

жение на срез (для пружинной стали $[\tau]$ = 3,0...4,5·10^8Н/м^2 = 3,0...4,5·10^4Н/см^2);

– число рабочих витков пружины определяется по формуле:

$$i_1 = \frac{\sigma d}{8K_n C^3}, \text{ витков,} \qquad (4.10)$$

где σ – модуль упругости на сдвиг для материала пружины (для стали σ=8·10^7);

– число нерабочих витков принимается исходя из следующих условий:

- при $i_1 \prec 7$ $i_2 = i + 1,5$ витка на оба торца пружины;
- при $i_1 \succ 7$ $i_2 = i + 2,5$ витка;
- полное число витков пружины составляет $i = i_1 + i_2$;

– высота ненагруженной пружины определяется по формуле:

$$H_o = i_1 \cdot h_1 + (i_2 + 0,5) \cdot d, \text{ см,} \qquad (4.11)$$

где h_1 – шаг пружины, принимаемый в пределах 0,25 – 0,5D ($D = C \cdot d$).

9. Проверяется выполнение условия обеспечения устойчивости пружин, работающих на сжатие по формуле:

$$\frac{H_0}{D} \le 1,5. \qquad (4.12)$$

10. ***Делается вывод.***

Задание 4.2. Пост управления оператора бетоносмесительного узла установлен на стальной плите размером 1,2×1,2×0,01м (плотность стали $7{,}8\times10^3$Н/м^3). Расчетный вес пульта управления составляет $Q_{п.у.}$ = 200Н, а вес оператора $Q_{ч.}$ = 800Н. Измеренные значения уровней виброскорости на рабочем месте оператора на частотах вынужденных колебаний 16, 31,5 и 63Гц превышают допустимые уровни по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 соответственно на 8, 12 и 6дБ. Необходимо рассчитать виброизоляцию рабочего места (рис.4.2) с использованием резиновых виброизоляторов (см. табл.3.4). Варианты исходных данных приведены в табл.4.2.

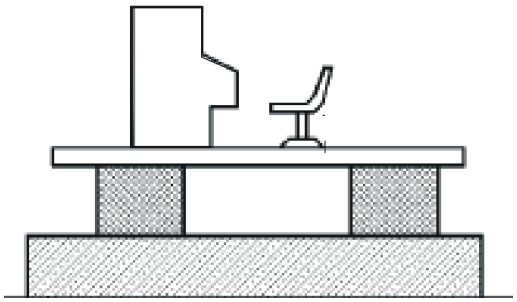


Рис. 4.2. Расчетная схема виброизоляции рабочего места оператора БСУ с помощью резиновых виброизоляторов

Таблица 4.2.

Исходные данные к заданию 4.2

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во виброизоляторов, $n_в$	шт.	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8
Марка резины		8508	4326	199	Н068	122	9831	3826	3311	2959	2566
Динамический мо-дуль упруго-сти, $E_д$	Н/см^2	126	226	196	166	206	166	236	250	63	38

Указания к решению

1. Определяется вес стальной плиты, на которой установлено рабочее место оператора бетоносмесительного узла:

$$P_{пл} = V + \gamma, \text{ Н}, \qquad (4.13)$$

где V — объем стальной плиты, м^3; γ — плотность стали, 7,8×10^3 Н/м^3.

2. Определяется общий вес виброизолируемой установки:

$$P = P_{пл} + Q_{ч.} + Q_{пл}, \text{ Н}. \qquad (4.14)$$

3. Определяется суммарная площадь виброизоляторов:

$$S = \frac{P}{\sigma}, \text{ см}^2, \qquad (4.15)$$

где σ — расчетное статическое напряжение в резине, 30 Н/м^2.

4. Определяется площадь одного резинового виброизолятора:

$$S_в = \frac{S}{n_в}, \text{ см}^2. \qquad (4.16)$$

5. Определяется суммарная жесткость всех виброизоляторов в вертикальном направлении по формуле:

$$K = 4\pi^2 f_{0доп}^2 \frac{P}{g}, \text{ Н/см}, \qquad (4.17)$$

где g — ускорение свободного падения, 980 см/сек^2; $f_{0доп}$ — допустимая частота собственных вертикальных колебаний, принимаемая из условия обеспечения требуемой эффективности виброизоляторов, $f_{0доп}$ = 8 Гц.

6. Определяется рабочая высота резинового виброизолятора:

$$H_р = \frac{E_д S}{K}, \text{ см}. \qquad (4.18)$$

7. Исходя из полученного значения площади одного вибризолятора $S_в$, принимается его геометрическое сечение и определяется

значение d (d — сторона квадратного или диаметр круглого сечений виброизолятора).

8. Резиновые виброизоляторы сохраняют устойчивость от опрокидывания в процессе эксплуатации при выполнении условия:

$$H_p \prec d \prec 1{,}5H_p. \qquad (4.19)$$

При невыполнении условия устойчивости (4.19) уточняется значение d и, следовательно, значения $S_в$ и S (соответственно, площадь одного виброизолятора и суммарная площадь виброизоляторов).

9. Определяется полная высота виброизолятора:

$$H = H_p + \left(\frac{d}{8}\right), \text{ см.} \qquad (4.20)$$

10. Определяется фактическая виброизолирующая способность резиновых виброизоляторов принятых геометрических размеров, на различных частотах вынужденных колебаний (f = 16; 31,5; 63 Гц) в следующей последовательности:

- рассчитывается суммарная жесткость виброизоляторов исходя из условия, что

$$H_p = \frac{E_д S}{K},$$

$$K = \frac{E_д S}{H_p}, \text{ Н/см,} \qquad (4.21)$$

где S — уточненная суммарная площадь виброизоляторов;

— уточняется значение частоты собственных вертикальных колебаний:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Kg}{P}}, \text{ Гц;} \qquad (4.22)$$

— рассчитываются значения коэффициента передачи μ для различных частот вынужденных колебаний f = 16; 31,5; 63 Гц по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^2 - 1}; \qquad (4.23)$$

— производится анализ зависимости расчетных значений μ от соотношения f / f_0 по графику рис.4.3.

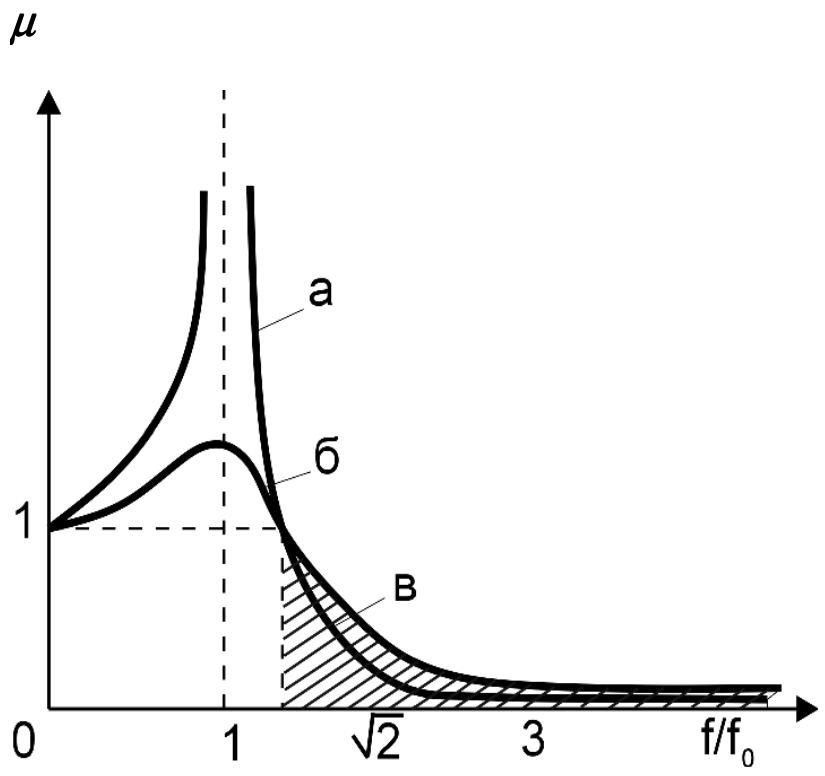


Рис.4.3. График зависимости коэффициента передачи μ от соотношения f / f_0 для оценки эффективности виброизоляции: а — при использовании стальных пружинных виброизоляторов; б — при использовании резиновых виброизоляторов; в – область эффективной виброизоляции.

11. ***Делается вывод об эффективности виброизоляции.***

Задание 4.3. Рассчитать виброгасящее основание (фундамент) под виброплощадку (рис.4.4). Размеры площадки 6269×1780×1020мм. Расчетный общий вес площадки $Q_{пл.}$ = 74200Н, в том числе вес подвижных частей $Q_{пч.}$ = 62780Н, мощность привода 28кВт, частота вращения 3000мин$^{-1}$, кинематический момент дебалансов M =2900Н/см, допустимое значение амплитуды виброперемещений стола $a_{доп}$ = 0,4мм. Предусмотреть выполнение виброизоляции в виде цилиндрических стальных пружин. Варианты исходных данных приведены в табл.4.3.

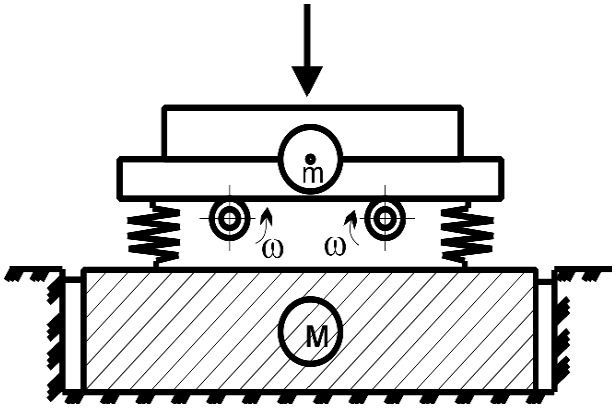


Рис. 4.4. Схема установки динамически неуравновешенной машины на виброгасящий фундамент

Таблица 4.3.

Исходные данные к заданию 4.3

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота вибрирования, f	Гц	25	25	40	40	50	50	50	63	63	63
Коэффициент упругого равномерного сжатия грунта (табл.3.2), C_z	Н/см^3	20	40	50	60	70	20	40	50	60	70

Указания к решению

Расчет виброгасящего основания (фундамента) сводится к проверке амплитуды виброперемещения вынужденных колебаний фундамента и собственной частоты колебаний фундамента. Собственная частота колебаний фундамента должна отличаться от частоты вынужденных колебаний не менее чем в 1,5 раза. При этом, для того, чтобы колебания подошвы фундамента не превышали (по виброперемещению) установленных для заданной частоты величин, фундамент должен иметь значительную массу.

1. Определяется динамическая нагрузка N, создаваемая дебалансами валов виброплощадки:

$$N = \frac{M\omega^2}{g}, \text{ Н}, \qquad (4.24)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота вала машины, $с^{-1}$; g — ускорение свободного падения, 980см/сек^2; M – кинетический момент дебаланса, Н/см.

2. Суммарная жесткость пружинных амортизаторов определяется с учетом предположения, что виброплощадка опирается на фундамент через стальные пружинные амортизаторы, дающие под действием подвижных (подрессоренных) частей установки статическую осадку $X_{ст}$ = 0,5см (рис.4.4) :

$$K = \frac{Q_{пч.}}{X_{ст}}, \text{ Н/м}. \qquad (4.25)$$

3. Определяется масса подвижных частей виброплощадки:

$$m_{пч} = \frac{Q_{пч.}}{g}, \text{ Н·с}^2\text{/см}. \qquad (4.26)$$

4. Определяется собственная круговая частота вертикальных колебаний подрессоренных частей виброплощадки ω_0 :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m_{пч}}}, \text{ с}^{-1}. \qquad (4.27)$$

5. Определяется нормальная динамическая нагрузка, передающаяся на фундамент:

$$N_ф = \frac{N}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1}, \text{ Н.} \qquad (4.28)$$

6. Опыт проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками показывает, что вес его должен быть примерно в 2 раза больше общего веса виброплощадки. Исходя из данного условия принимаем $Q_ф$ = 140000Н и $F_ф$ = 640×180 = 115200см^2. Масса фундамента определяется по формуле:

$$m_ф = \frac{Q_ф}{g}, \text{ Н·с}^2\text{/см.} \qquad (4.29)$$

7. Определяется коэффициент жесткости естественного основания:

$$K_z = F_ф C_z, \text{ Н/см}^2, \qquad (4.30)$$

где C_z – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта (табл.3.2).

8. Определяется круговая частота собственных вертикальных колебаний фундамента:

$$\omega_ф = \sqrt{\frac{K_z}{m_ф}}, \text{ с}^{-1}. \qquad (4.31)$$

9. Определяется амплитуда перемещения фундамента под действием динамической силы:

$$a_ф = \frac{N_ф}{K_z\left(\frac{\omega^2}{\omega_ф^2} - 1\right)}, \text{ см.} \qquad (4.32)$$

10. Сравнивается значение $a_ф$ с $a_{доп}$ и делается вывод.

Задание 4.4. Установить эффективность виброизоляции вентиляционной установки с электрическим приводом, выполненную из стальных пружин. Исходные данные принять из табл.4.4.

Таблица 4.4

Исходные данные к заданию 4.4

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вес установки, P	кгс	1200	1100	1000	1150	1250	1050	950	1350	1400	1450
Частота вращения вала электродвигателя, n	об/мин	800	800	850	860	870	820	840	810	820	810
Количество виброизоляторов, N	шт	4	4	4	6	6	6	8	8	8	4
допустимая амплитуда смещения, a_z	мм	0,12	0,10	0,11	0,15	0,14	0,12	0,10	0,11	0,15	0,15

Задание 4.5. Электрогенератор установлен на резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью $K_z = 18 \cdot 10^5$ Н/м. Сравнить параметры вибрации с допустимыми значениями. Исходные данные для расчетов принять из табл.4.5.

Таблица 4.5

Исходные данные к задаче 5

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Масса генератора, m	кгс	2000	2100	2200	2150	2250	2050	1950	2350	2400	2450
Частота вращения вала установки, n	об/мин	800	800	850	860	870	820	840	810	820	810
Количество виброизоляторов	шт	6	6	6	4	4	4	4	4	8	8

Задание 4.6. Рассчитать виброизоляцию виброплощадки и виброгасящее основание (фундамент) с обеспечением допустимых параметров вибрации рабочих мест. Виброизоляторы пружинные. Виброплощадка с вертикально направленными колебаниями грузоподъемностью P. Размер виброплатформы 6 × 2,2м. Исходные данные для расчетов принять из табл.4.6.

Таблица 4.6

Исходные данные к заданию 4.6

Исходные данные	Ед. изм.	Варианты								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грузоподъемность виброплощадки, ***P***	т	11	10,5	9,5	10	9,0	11	10,5	9,5	10
общий вес ***Q***	Н	14500	13900	13000	13250	12250	14250	13850	12500	12900
Вес подвижных частей $Q_{п.ч.}$	Н	11898	11398	10660	10720	10860	11690	11350	10250	10580
Частота колебаний ***f***	Гц	30	30	30	40	40	40	50	50	50
Максимальный кинематический момент дебалансов ***M***	Н/см	5370	5200	4810	4900	4530	5270	5120	4625	4773
амплитуда колебаний виброплатформы ***a***	мм	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,5	0,55	0,6	0,65
Вид грунта		Песок крупный	Песок средней крупности	Песок мелкий маловлажный	Песок мелкий насыщенный водой	Песок пылевлажный маловлажный	Песок крупный	Песок средней крупности	Песок мелкий маловлажный	Песок мелкий насыщенный водой

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин	Определение
1	2
Амплитуда гармонических колебаний (вибрации)	Максимальное значение величины (характеризующей вибрацию) при гармонических колебаниях (вибрации)
Активная виброзащита	Вибрационная защита, использующая энергию дополнительного источника
Болезнь движения	Рвотный рефлекс, тошнота и недомогание, провоцируемые движением самого человека или окружающих его предметов (среды)
Вибрация	Движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин
Вибрационная безопасность	Отсутствие условий, приводящих или способных привести к ухудшению состояния здоровья человека или к значительному снижению степени комфортности его труда в результате неблагоприятного воздействия вибрации
Вибрационная активность [виброактивность] машины	Свойство машины производить вибрацию во время работы
Виброопасная машина	Виброактивная машина, способная в условиях нормального применения производить вибрацию выше той, что допускает не заявлять и не подтверждать ее вибрационную характеристику
Вибровозбудитель	Устройство, предназначенное для возбуждения вибрации и используемое самостоятельно или в составе другого устройства
Вибрационная защита	Совокупность средств и методов уменьшения вибрации, воспринимаемой защищаемыми объектами
Виброперемещение	Составляющая перемещения, описывающая вибрацию
Виброскорость	Производная виброперемещения по времени
Виброускорение	Производная виброскорости по времени
Виброизоляция	Метод вибрационной защиты посредством устройств, помещаемых между источником возбуждения и защищаемым объектом
Виброизолятор	Устройство, осуществляющее виброизоляцию
Динамические характеристики объекта виброзащиты	Параметры, характеризующие состояние объекта и зависящие от свойств средств защиты

1	2
Динамические характеристики источника возбуждения вибрации	Силовые и кинематические параметры, не зависящие от свойств средств виброзащиты
Динамическое гашение вибрации (динамическое виброгашение)	Метод вибрационной защиты посредством присоединения к защищаемому объекту системы, реакции которой уменьшают размах вибрации объекта в точках присоединения системы
Демпфер (амортизатор, гаситель колебаний)	Виброзащитное устройство или его часть, создающая демпфирование вибрации
Допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях	Уровень фактора, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию
Объект виброзащиты	Вибрирующий объект, вибрацию которого необходимо снизить до требуемого уровня
Октавная полоса частот (октава)	Полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2
Путь распространения вибрации	Элементы устройств, расположенные между источником возбуждения вибрации и объектом виброзащиты, по которым распространяется вибрация
Полоса частот	Совокупность частот в рассматриваемых пределах
Полуоктавная полоса частот (полуоктава)	Полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно $\sqrt{2}$
Пассивная виброзащита	Вибрационная защита, не использующая энергию дополнительного источника
Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации	Уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен 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 нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц
Порог чувствительности к вибрации	Низший уровень вибрации, при котором человек еще способен ощущать ее воздействие
Спектр частот	Совокупность частот гармонических составляющих колебаний, расположенных в порядке возрастания
Спектральный анализ колебаний (вибрации)	Определение спектра колебаний (вибрации) или спектра частот

1	2
Среднегеометрическая частота полосы (среднегеометрическая частота)	Квадратный корень из произведения граничных частот полосы
Синдром локальной вибрации.	Комплексные симптомы (неврологической, сосудистой и скелетно-мышечной систем), связанные с нарушением здоровья вследствие воздействия локальной вибрации
Третьоктавная полоса частот (треть октавы)	Полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно $\sqrt[3]{2}$
Укачивание	Процесс воздействия низкочастотных колебаний, способный привести к болезни движения
Коэффициент жесткости	Взятая с противоположным знаком производная характеристики восстанавливающей силы или момента
Коэффициент передачи при виброизоляции (коэффициент передачи)	Отношение амплитуды виброперемещения; (виброскорости, виброускорения защищаемого объекта или действующей на него силы) к амплитуде той же величины источника возбуждения при гармонической вибрации
Комфорт	Субъективное ощущение хорошего самочувствия в условиях воздействия внешних факторов, включая вибрацию и удар
Корректированный уровень вибрации	- одночисловая характеристика вибрации, определяемая как результат энергетического суммирования уровней вибрации в октавных полосах частот с учетом октавных поправок
Механические колебания	Колебания значений кинематической или динамической величины, характеризующей механическую систему
Частота периодических колебаний (вибрации) (частота)	Величина, обратная периоду колебаний (вибрации)
Чувствительность к вибрации	Субъективное восприятие человеком наличия воздействующей на него вибрации

Приложение 2

СН 2.2.4/2.1.8.566-96. ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ВИБРАЦИЯ, ВИБРАЦИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ (извлечения)

Предельно допустимые значения производственной вибрации и допустимые значения вибрации в жилых и общественных зданиях

Таблица 1

Предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч)

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	*Предельно допустимые значения по осям $X_л, Y_л, Z_л$			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с^2	дБ	м/с·10^{-2}	дБ
1	2	3	4	5
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
*Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

Предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в таблицах 2,3,6.

Допустимые значения нормируемых параметров вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях приведены в табл.7 и 8.

Таблица 2

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 1 - транспортной

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения виброускорения							
	м/с^2				дБ			
	в 1/3 октаве		в 1/1 октаве		в 1/3 октаве		в 1/1 октаве	
	Z_o	X_o, Y_o	Z_o	X_o, Y_o	Z_o	X_o, Y_o	Z_o	X_o, Y_o
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8	0,70	0,22			117	107		
1,0	0,63	0,22	1,10	0,40	116	107	121	112
1,25	0,56	0,22			115	107		
1,6	0,50	0,22			114	107		
2,0	0,45	0,22	0,79	0,45	113	107	118	113
2,5	0,40	0,28			112	109		
3,15	0,35	0,35			111	111		
4,0	0,32	0,45	0,56	0,79	110	113	115	118
5,0	0,32	0,56			110	115		
6,3	0,32	0,70			110	117		
8,0	0,32	0,89	0,63	1,60	110	119	116	124
10,0	0,40	1,10			112	121		
12,5	0,50	1,40			114	123		
16,0	0,63	1,80	1,10	3,20	116	125	121	130
20,0	0,79	2,20			118	127		
25,0	1,00	2,80			120	129		
31,5	1,30	3,50	2,20	6,30	122	131	127	136
40,0	1,60	4,50			124	133		
50,0	2,00	5,60			126	135		
63,0	2,50	7,00	4,50	13,00	128	137	133	142
80,0	3,20	8,90			130	139		
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни			0,56	0,40			115	112
0,8	14,0	4,50			129	119		
1,0	10,0	3,50	20,0	6,30	126	117	132	122
1,25	7,10	2,80			123	115		
1,6	5,00	2,20			120	113		
2,0	3,50	1,78	7,10	3,50	117	111	123	117
2,5	2,50	1,78			114	111		
3,15	1,79	1,78			111	111		
4,0	1,30	1,78	2,50	3,20	108	111	114	116

Окончание табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0	1,00	1,78			106	111		
6,3	0,79	1,78			104	111		
8,0	0,63	1,78	1,30	3,20	102	111	108	116
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10,0	0,63	1,78			102	111		
12,5	0,63	1,78			102	111		
16,0	0,63	1,78	1,10	3,20	102	111	107	116
20,0	0,63	1,78			102	111		
25,0	0,63	1,78			102	111		
31,5	0,63	1,78	1,10	3,20	102	111	107	116
40,0	0,63	1,78			102	111		
50,0	0,63	1,78			102	111		
63,0	0,63	1,78	1,10	3,20	102	111	107	116
80,0	0,63	1,78			102	111		
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни			1,10	3,20			107	116

Таблица 3

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 2 - транспортно-технологической

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с^2		дБ		м/с·10^{-2}		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,25		108		2,50		114	
2,0	0,22	0,40	107	112	1,80	3,50	111	117
2,5	0,20		106		1,30		108	
3,15	0,18		105		0,98		105	
4,0	0,16	0,28	104	109	0,63	1,30	102	108
5,0	0,16		104		0,50		100	
6,3	0,16		104		0,40		98	
8,0	0,16	0,28	104	109	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		106		0,32		96	
12,5	0,25		108		0,32		96	
16,0	0,32	0,56	110	115	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		112		0,32		96	
25,0	0,50		114		0,32		96	
31,5	0,63	1,10	116	121	0,32	0,56	96	101
40,0	0,79		118		0,32		96	
50,0	1,00		120		0,32		96	

Окончание табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63,0 80,0	1,30 1,60	2,20	122 124	127	0,32 0,32	0,56	96 96	101
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,28		109		0,56		101

Таблица 6

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							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с^2		дБ		м/с·10^{-2}		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,089		99		0,89		105	
2,0	0,079	0,14	98	103	0,63	1,30	102	108
2,5	0,070		97		0,45		99	
3,15	0,063		96		0,32		96	
4,0	0,056	0,10	95	100	0,22	0,45	93	99
5,0	0,056		95		0,18		91	
6,3	0,056		95		0,14		89	
8,0	0,056	0,10	95	100	0,11	0,22	87	93
10,0	0,070		97		0,11		87	
12,5	0,089		99		0,11		87	
16,0	0,110	0,20	101	106	0,11	0,20	87	92
20,0	0,140		103		0,11		87	
25,0	0,180		105		0,11		87	
31,5	0,220	0,40	107	112	0,11	0,20	87	92
40,0	0,280		109		0,11		87	
50,0	0,350		111		0,11		87	
63,0	0,450	0,79	113	118	0,11	0,20	87	92
80,0	0,560		115		0,11		87	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,10		100		0,20		92

Таблица 7

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа "б"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с^2		дБ		м/с·10^{-2}		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,035		91		0,350		97	
2,0	0,032	0,056	90	95	0,250	0,500	94	100
2,5	0,028		89		0,180		91	
3,15	0,025		88		0,130		88	
4,0	0,022	0,040	87	92	0,089	0,180	85	91
5,0	0,022		87		0,070		83	
6,3	0,022		87		0,056		81	
8,0	0,022	0,040	87	92	0,045	0,089	79	85
10,0	0,028		89		0,045		79	
12,5	0,035		91		0,045		79	
16,0	0,045	0,079	93	98	0,045	0,079	79	84
20,0	0,056		95		0,045		79	
25,0	0,070		97		0,045		79	
31,5	0,089	0,160	99	104	0,045	0,079	79	84
40,0	0,110		101		0,045		79	
50,0	0,140		103		0,045		79	
63,0	0,180	0,320	105	110	0,045	0,079	79	84
80,0	0,220		107		0,045		79	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,040		92		0,079		84

Таблица 8

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 - технологической типа "в"

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0, Y_0, Z_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с^2		дБ		м/с·10^{-2}		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,020	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	

Окончание табл.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,15	0,0089		79		0,045		79	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079		78		0,020		72	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130		82		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
25,0	0,0250		88		0,016		70	
31,5	0,0320	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500		94		0,016		70	
63,0	0,0630	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0790		98		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,014		83		0,028		75

Таблица 9

Допустимые значения вибрации в жилых помещениях, палатах больниц, санаториев

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с^2·10^{-3}	дБ	м/с·10^{-4}	дБ
2	4,0	72	3,2	76
4	4,5	73	1,8	71
8	5,6	75	1,1	67
16	11,0	81	1,1	67
31,5	22,0	87	1,1	67
63	45,0	93	1,1	67
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	4,0	72	1,1	67

Примечания: 1. В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ.

2. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в табл. 9, вводится поправка - 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32.

3. В палатах больниц и санаториев допустимые уровни вибраций нужно снижать на 3 дБ.

Таблица 10

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			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с^2·10^{-3}	дБ	м/с·10^{-3}	дБ
2	10,0	80	0,79	84
4	11,0	81	0,45	79
8	14,0	83	0,28	75
16	28,0	89	0,28	75
31,5	56,0	95	0,28	75
63	110,0	101	0,28	75
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	10	80	0,28	75

Примечания. 1. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в табл.10, вводится поправка - 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32.

2. Для помещений школ, учебных заведений, читальных залов библиотек вводится поправка - 3 дБ.

Приложение 3

ГОСТ 12.1.012-2004.ВИБРАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
Общие требования
Occupational safety standards system. Vibration safety. General requirements

(Дата введения 2008-07-01)
(извлечения)

Введение

Задачей обеспечения вибрационной безопасности является предотвращение условий, при которых воздействие вибрации могло бы привести к ухудшению состояния здоровья работников, в том числе к профессиональным заболеваниям, а также к значительному снижению комфортности условий труда (особенно для лиц профессий, требующих при выполнении производственного задания исключительного внимания во избежание возникновения опасных ситуаций, например водителей транспортных средств).

Вибрация, создаваемая машинами, механизированным инструментом и оборудованием (далее - машины), способна привести как к нарушениям в работе и выходу из строя самих машин, так и служить причиной повреждения других технических и строительных объектов. Это может повлечь за собой возникновение аварийных ситуаций и, в конечном счете, неблагоприятных воздействий на человека, получение им травм. Поэтому контроль за вибрационным состоянием машин и вибропрочностью объектов также относят (в широком смысле) к мерам по обеспечению вибрационной безопасности, однако данная проблема не входит в область применения настоящего стандарта.

Для того чтобы требования обеспечения безопасности труда и, в частности, вибрационной безопасности, были выполнены в комплексе, им следует уделять должное внимание на самых разных уровнях - от уровня предприятия до национального и даже международного. При этом в данной области наблюдается столкновение интересов многих сторон. В настоящем стандарте выделены основные стороны, отвечающие за обеспечение вибрационной безопасности, с указанием степени этой ответственности.

Наиболее важными ответственными сторонами в области обеспечения вибрационной безопасности являются государство, работодатель и изготовитель (поставщик) машин - основных источников вибрации антропогенного характера. В настоящем стандарте отражена концепция вибрационной безопасности, принятая в странах Европейского Союза (ЕС) и других промышленно развитых странах, когда на изготовителя машины ложится ответственность за заявление характеристик этой машины, непосредственно влияющих на условия ее безопасного применения. После того как изготовитель выполнил свои обязательства и заявил требуемые характеристики машины, последней открывается беспрепятственный доступ на национальный и международные рынки. Дальнейшая ответственность за правильный выбор машин и правильное их применение лежит на работодателе. Государство, в свою очередь, через законодательные акты определяет условия правильного (в смысле безопасности) применения машин, а через надзорные органы проверяет выполнение работодателем указанных условий. При этом в соответствии с принятой международной практикой рекомендуется, чтобы государство при разработке законов и нормативов опиралось на общепризнанные междуна-

родные стандарты. В приложении В приведена схема международных и европейских стандартов в области вибрационной безопасности.

1 Область применения

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

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

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ ИСО 8041 и ГОСТ 24346, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вибрационная безопасность: Отсутствие условий, приводящих или способных привести к ухудшению состояния здоровья человека или к значительному снижению степени комфортности его труда в результате неблагоприятного воздействия вибрации.

3.2 машина типа 1: Машина, которая в процессе работы может передавать вибрацию непосредственно на тело человека.

Примеры

1 Шлифовальная машина.

2 Экскаватор.

3.3 **машина типа 2:** Машина, которая в процессе нормального функционирования не находится в контакте с телом человека, но может передавать на него вибрацию через механическую связь и (или) связь других видов.

Примеры

1 Компрессор для подачи сжатого воздуха в троллейбусе.

2 Турбогенератор в машинном зале.

3.4 виброизолирующее изделие типа 1: Изделие, не являющееся источником вибрации, но применяемое в соответствии со своим назначением таким образом, что вибрация от машин типа 1 передается через них непосредственно на тело человека.

Примеры

1 Сиденье в салоне электропоезда.

2 Виброизолирующие перчатки.

3.5 виброизолирующее изделие типа 2: Изделие, не являющееся источником вибрации и не находящееся в условиях нормального применения в контакте с телом человека, но предназначенное для ослабления вибрации от машин типа 2.

Примеры

1 Упругие опоры вентилятора.

2 Гибкие вставки в трубопроводе.

3.6 вибрационная характеристика изделия: Количественный показатель, отражающий способность изделия производить или передавать вибрацию и устанавливаемый при испытаниях типа изделия в соответствии с испытательным кодом по вибрации.

3.7 параметр вибрационной характеристики u: Скалярная величина, получаемая в результате измерения и обработки сигнала (сигналов) вибрации в заданных точках изделия.

Примеры

1 Полное среднеквадратичное значение корректированного виброускорения на заданном периоде интегрирования.

2 Переходная динамическая жесткость для поступательной вибрации.

3.9 вибрационная активность [виброактивность] машины: Свойство машины производить вибрацию во время работы.

3.10 виброопасная машина: Виброактивная машина, способная в условиях нормального применения производить вибрацию выше той, что допускает не заявлять и не подтверждать ее вибрационную характеристику.

3.12 общая вибрация: Вибрация, передаваемая на тело стоящего, сидящего или лежащего человека в точках его опоры (ступни ног, ягодицы, спина, голова).

Воздействие общей вибрации на человека может быть рассмотрено в более широком контексте, нежели безопасность труда (например, вибрация, воздействующая на пассажиров транспортных средств или на людей в здании). В этом случае в качестве критерия оценки выступает не риск ухудшения состояния здоровья, а, например, неприятные ощущения в результате воздействия.

3.13 локальная вибрация: Вибрация, передаваемая через кисти рук человека в местах контакта с управляемой машиной или обрабатываемым изделием.

В отличие от общей вибрации локальную вибрацию обычно рассматривают только с позиции ее воздействия (реального или потенциального) на рабочем месте оператора.

3.14 виброопасная профессия: Профессия, связанная с условиями труда, при которых воздействие на человека вибрации может представлять собой потенциальную опасность для его здоровья.

3.15 рабочее место: Область пространства (участок, маршрут и т.п.), где работник выполняет рабочее задание.

Примечание - Под измерениями или оценкой вибрации на рабочем месте понимают задачу охарактеризовать условия выполнения работником рабочего задания с точки зрения воздействующей на него вибрации, а не вибрацию в конкретной области пространства.

4 Ответственность сторон в обеспечении вибрационной безопасности

4.1 Общие положения

Основным средством обеспечения вибрационной безопасности является создание условий работы, при которых вибрация, воздействующая на человека, не превышает некоторых установленных пределов (гигиенических нормативов). Порядок установления предельных значений и документы, в которых они должны быть установлены, определяются национальным законодательством. Гигиенические нормативы устанавливают для параметров, характеризующих действие вибрации, которые определены в следующих стандартах:

ГОСТ 31191.1 - для общей вибрации;

ГОСТ 31191.2 - для вибрации внутри зданий;

ГОСТ 31191.4 - для вибрации внутри железнодорожных транспортных средств;

ГОСТ 31192.1 - для локальной вибрации.

Значения нормируемых параметров вибрации определяют по результатам измерений на рабочих местах: локальной вибрации - по ГОСТ 31192.2; общей вибрации - по ГОСТ 31319. В отдельных случаях допускается определять значения нормируемых параметров на основании расчетов. Примечание -

4.2 Ответственность работодателя

Ответственность за соблюдение установленных гигиенических нормативов по вибрации на рабочих местах лежит на работодателе. Для этого он должен оценить риск, связанный с воздействием вибрации на рабочих, и принять меры, необходимые для снижения вибрационной нагрузки. Эти меры включают в себя, в частности:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование машин с меньшей виброактивностью;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- оптимальное размещение виброактивных машин, минимизирующее вибрацию на рабочем месте;
- создание условий труда, при которых вредное воздействие вибрации не усугубляется наличием других неблагоприятных факторов;
- использование в качестве рабочих виброопасных профессий лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований;
- обучение рабочих виброопасных профессий правильному применению машин, уменьшающему риск получения вибрационной болезни;
- оповещение рабочих виброопасных профессий о мерах, принимаемых работодателем, позволяющих снизить риск ухудшения состояния здоровья рабочего вследствие неблагоприятного воздействия вибрации, и санкциях, которые могут быть наложены на рабочего при несоблюдении указанных мер;
- контроль за правильным использованием средств виброзащиты;
- проведение периодического контроля вибрации на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению вибрационной нагрузки на человека, а также контроль за его соблюдением;
- проведение послеремонтного и, при необходимости*, периодического контроля виброактивных машин;
- организацию профилактических мероприятий, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации.

Эти, а также другие меры, позволяющие снизить риск ухудшения состояния здоровья рабочих, в том числе появления у них вибрационной болезни, должны быть отражены в регламенте безопасного ведения работ. Регламент безопасного ведения работ разрабатывает работодатель с привлечением специалистов разного профиля (медицинских работников, конструкторов, технологов и др.).

4.3 Ответственность изготовителей (поставщиков) машин и виброизолирующих изделий

Машины, которые в процессе работы производят вибрацию, неблагоприятно воздействующую на оператора, следует конструировать и изготовлять с учетом самых современных достижений технологии, позволяющих снизить вред от вибрационного воздействия. Изготовители машин (типов 1 и 2) также, как и изготовители виброизолирующих изделий (типов 1 и 2), предназначенных для снижения передаваемой машинами вибрации, несут ответственность за заявление их вибрационных характеристик.

Информацию о вибрационной характеристике машины или виброизолирующего изделия представляют в эксплуатационных документах.

Машину не относят к виброопасным, если в любых режимах работы и любых условиях ее нормального применения максимальное полное среднеквадратичное значение корректированного виброускорения не превышает 0,5 м/с^2 для локальной и 0,1 м/с^2 для общей вибрации. Вибрационные характеристики таких машин допускается не заявлять и не подтверждать.

Для машин типа 2 вибрация на пути к рабочему месту оператора может усиливаться из-за резонансов элементов конструкции помещения и установленного в нем оборудования. Ответственность за выбор динамических свойств помещения и размещение в нем оборудования лежит на работодателе (см. 4.2), поэтому решение о заявлении или незаявлении вибрационных характеристик машины следует принимать без учета возможного усиления вибрации по пути ее распространения.

Если максимальное значение полного корректированного виброускорения, производимого ручной машиной, не превышает 1,25 м/с^2, допускается, отразив это в эксплуатационных документах, не приводить числовые значения вибрационной характеристики.

Для самоходных машин допускается не приводить числовых значений вибрационной характеристики (но отразив в эксплуатационных документах низкую виброактивность машины) в следующих случаях:

- для локальной вибрации - если максимальное значение полного корректированного виброускорения не превышает 1,25 м/с^2;

- для общей вибрации - если максимальное значение полного корректированного виброускорения не превышает 0,25 м/с^2.

Если вибрация машины имеет импульсный характер или форму переходного процесса короткой длительности, то все числовые значения, указанные в настоящем пункте, следует сравнивать с текущим полным среднеквадратичным значением корректированного виброускорения, причем время интегрирования следует выбирать таким образом, чтобы на него приходилось 90% энергии сигнала.

Заявленное значение вибрационной характеристики может быть использовано для выбора машины, которая будет в наименьшей степени оказывать неблагоприятное (с точки зрения вибрации) воздействие на человека, а также в целях

ориентировочной оценки вибрации, которая будет воздействовать на оператора машины во время ее применения. Однако при этом следует учитывать, что для многих машин производимая ими вибрация сильно зависит от условий применения (установка, объект обработки, способ использования и т.д.), что не позволяет по значению вибрационной характеристики точно оценить последствия воздействия вибрации на оператора.

4.4 Ответственность работника

Работник обязан соблюдать относящиеся к нему меры вибрационной защиты и правила, которые предписаны регламентом безопасного ведения работ.

Средства вибрационной защиты, применяемые для снижения уровня действующей на рабочем месте вибрации до допустимого, могут вызывать неудобство в работе и, иногда, приводить к снижению производительности труда. Это может служить причиной отказа работника в их применении. Национальное законодательство может устанавливать применение санкций к работнику, нарушающему регламент безопасного ведения работ. Работник должен быть проинформирован работодателем о возможных санкциях, определенных национальным законодательством, а также о различных мерах взыскания, установленных работодателем в регламенте безопасного ведения работ.

6 Требования по вибрационной безопасности в стандартах для машин отдельных видов

Стандарты для машин отдельных видов могут быть полностью посвящены вибрационной безопасности или, устанавливая общие требования по безопасности, включать в себя отдельные разделы (пункты) по вибрационной безопасности. В последнем случае, если вибрационная активность машины низка и она не представляет собой опасности для здоровья оператора, рекомендуется в общем перечне факторов риска использовать для вибрации формулировку: "Вибрация для машин данного вида в качестве источника риска не рассматривается".

Стандарт, распространяющийся на машины конкретного вида, может представлять собой испытательный код по вибрации и, кроме того, включать в себя следующие разделы (пункты):

- методы снижения вибрации машины (использованием оптимальной конструкции машины или применением защитных устройств) с указанием эффективности метода и процедуры подтверждения этой эффективности;
- средства индивидуальной защиты от вибрации, которые могут быть использованы при работе с машиной;
- требования к представлению информации, связанной с вибрационной безопасностью машины, в эксплуатационных документах.

Не рекомендуется устанавливать в стандартах на машины конкретных видов какие-либо предельные или допустимые значения для вибрационных характеристик.

Приложение 4

Р 2.2.2006-05. ГИГИЕНА ТРУДА
Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (извлечения)

1. Область применения и общие положения

1.7. Работа в опасных (экстремальных) условиях труда (4 класс) не допускается за исключением ликвидации аварий, проведения экстренных работ для предупреждения аварийных ситуаций. При этом работа должна проводиться в соответствующих средствах индивидуальной защиты и при соблюдении режимов, регламентированных для таких работ.

1.8. Допустимое время контакта работников отдельных профессиональных групп, занятых во вредных условиях труда (защита временем) работодатель устанавливает по согласованию с территориальными управлениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на основании "Руководства по оценке риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии" Р 2.2.1766-03. Класс условий труда в этом случае может быть понижен на одну ступень (в соответствии с п.5.11.6 руководства), но не ниже класса 3.1.

1.10. Для отдельных видов производств, работ, профессий, имеющих выраженную специфику (работники плавсостава, водители автотранспорта, работники железнодорожного транспорта, вахтовые методы труда и др.) рекомендуется разрабатывать отраслевые документы, которые должны быть согласованы с Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (если они распространяются на отрасль, общие профессии, виды работ) или с территориальными управлениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека - в случае, если документ распространяется на отдельные предприятия, работы, специфичные для данной территории.

3. Основные понятия, используемые в руководстве

Условия труда - совокупность факторов трудового процесса и рабочей среды, в которой осуществляется деятельность человека.

Вредный фактор рабочей среды* - фактор среды и трудового процесса, воздействие которого на работника может вызывать профессиональное заболевание или другое нарушение состояния здоровья, повреждение здоровья потомства.

Вредными факторами могут быть:

- **физические факторы** - температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое излучение; неионизирующие электромагнитные поля (ЭМП) и излучения - электростатическое поле; постоянное магнитное поле (в т.ч. гипогеомагнитное); электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 Гц); широкополосные ЭМП, создаваемые ПЭВМ; электромагнитные излучения радиочастотного диапазона; широкополосные электромагнитные импульсы; электромагнитные излучения оптического диапазона (в т.ч. лазерное и ультрафиолетовое);

ионизирующие излучения; производственный шум, ультразвук, инфразвук; вибрация (локальная, общая); аэрозоли (пыли) преимущественно фиброгенного действия; освещение - естественное (отсутствие или недостаточность), искусственное (недостаточная освещенность, пульсация освещенности, избыточная яркость, высокая неравномерность распределения яркости, прямая и отраженная слепящая блесткость); электрически заряженные частицы воздуха - аэроионы;

- **химические факторы** - химические вещества, смеси, в т.ч. некоторые вещества биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты, белковые препараты), получаемые химическим синтезом и/или для контроля которых используют методы химического анализа;

- **биологические факторы** - микроорганизмы-продуценты, живые клетки и споры, содержащиеся в бактериальных препаратах, патогенные микроорганизмы - возбудители инфекционных заболеваний;

- **факторы трудового процесса**.

Тяжесть труда - характеристика трудового процесса, отражающая преимущественную нагрузку на опорно-двигательный аппарат и функциональные системы организма (сердечно-сосудистую, дыхательную и др.), обеспечивающие его деятельность. Тяжесть труда характеризуется физической динамической нагрузкой, массой поднимаемого и перемещаемого груза, общим числом стереотипных рабочих движений, величиной статической нагрузки, характером рабочей позы, глубиной и частотой наклона корпуса, перемещениями в пространстве.

Напряженность труда - характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку преимущественно на центральную нервную систему, органы чувств, эмоциональную сферу работника. К факторам, характеризующим напряженность труда, относятся: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, степень монотонности нагрузок, режим работы.

Опасный фактор рабочей среды - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти. В зависимости от количественной характеристики и продолжительности действия отдельные вредные факторы рабочей среды могут стать опасными.

Гигиенические нормативы условий труда (ПДК, ПДУ) - уровни вредных факторов рабочей среды, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч, но не более 40 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Соблюдение гигиенических нормативов не исключает нарушение состояния здоровья у лиц с повышенной чувствительностью.

Примечание. Гигиенические нормативы обоснованы с учетом 8-часовой рабочей смены. При большей длительности смены, но не более 40 часов в неделю, в каждом конкретном случае возможность работы должна быть согласована с территориальными управлениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека с учетом показателей здоровья работников (по данным периодических медицинских осмотров и др.), наличия жалоб на условия труда и обязательного соблюдения гигиенических нормативов.

4. Общие принципы гигиенической классификации условий труда

4.1. Гигиенические критерии - это показатели, характеризующие степень отклонений параметров факторов рабочей среды и трудового процесса от действующих гигиенических нормативов. Классификация условий труда основана на принципе дифференциации указанных отклонений за исключением работ с возбудителями инфекционных заболеваний, с веществами, для которых должно быть исключено вдыхание или попадание на кожу (противоопухолевые лекарственные средства, гормоны-эстрогены, наркотические анальгетики), которые дают право отнесения условий труда к определенному классу вредности за потенциальную опасность.

4.2. Исходя из степени отклонения фактических уровней факторов рабочей среды и трудового процесса от гигиенических нормативов, условия труда по степени вредности и опасности условно подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Оптимальные условия труда (1 класс) - условия, при которых сохраняется здоровье работника и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности. Оптимальные нормативы факторов рабочей среды установлены для микроклиматических параметров и факторов трудовой нагрузки. Для других факторов за оптимальные условно принимают такие условия труда, при которых вредные факторы отсутствуют либо не превышают уровни, принятые в качестве безопасных для населения.

Допустимые условия труда (2 класс) характеризуются такими уровнями факторов среды и трудового процесса, которые не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время регламентированного отдыха или к началу следующей смены и не оказывают неблагоприятного действия в ближайшем и отдаленном периоде на состояние здоровья работников и их потомство. Допустимые условия труда условно относят к безопасным.

Вредные условия труда (3 класс) характеризуются наличием вредных факторов, уровни которых превышают гигиенические нормативы и оказывают неблагоприятное действие на организм работника и/или его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работников* условно разделяют на 4 степени вредности:

1 степень 3 класса (3.1) - условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся, как правило, при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами и увеличивают риск повреждения здоровья;

2 степень 3 класса (3.2) - уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению профессионально обусловленной заболеваемости (что может проявляться повышением уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности и, в первую очередь, теми болезнями, которые отражают состояние наиболее уязвимых для данных факторов органов и систем), появлению начальных признаков или легких форм профессиональных заболеваний (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3 степень 3 класса (3.3) - условия труда, характеризующиеся такими уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых приводит к развитию, как правило, профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в периоде трудовой деятельности, росту хронической (профессионально обусловленной) патологии;

4 степень 3 класса (3.4) - условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности), отмечается значительный рост числа хронических заболеваний и высокие уровни заболеваемости с временной утратой трудоспособности.

Опасные (экстремальные) условия труда (4 класс) характеризуются уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в т.ч. и тяжелых форм.

5. Гигиенические критерии и классификация условий труда при воздействии факторов рабочей среды и трудового процесса

5.4. Виброакустические факторы

5.4.1. Градация условий труда при воздействии на работников шума, вибрации, инфра- и ультразвука в зависимости от величины превышения действующих нормативов представлена в табл.4.

Таблица 4

Классы условий труда в зависимости от уровней локальной, общей вибрации на рабочем месте

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ до ...дБ/раз (включительно):					
Вибрация локальная, эквивалентный корректированный уровень (значение) виброскорости, виброускорения (дБ/раз)	≤ ПДУ 2)	3/1,4	6/2	9/2,8	12/4	>12/4
Вибрация общая, эквивалентный корректированный уровень виброскорости, виброускорения (дБ/раз)	≤ ПДУ 2)	6/2	12/4	18/6	24/8	>24/8

5.4.2. Степень вредности и опасности условий труда при действии виброакустических факторов устанавливается с учетом их временных характеристик (постоянный, непостоянный шум, вибрация и т.д.).

5.4.4. Определение степени вредности условий труда при воздействии производственной вибрации.

5.4.4.1. Гигиеническая оценка воздействующей на работника постоянной вибрации (общей, локальной) проводится согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Произ-

водственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий" методом интегральной оценки по частоте нормируемого параметра. При этом для оценки условий труда измеряют или рассчитывают корректированный уровень (значение) виброскорости или виброускорения (согласно приложению к СН 2.2.4/2.1.8.566-96).

Примечание. Постоянная вибрация - вибрация, величина нормируемых параметров которой изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения.

5.4.4.2. Гигиеническая оценка воздействующей на работника непостоянной вибрации (общей, локальной) проводится согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 методом интегральной оценки по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра. При этом для оценки условий труда измеряют или рассчитывают эквивалентный корректированный уровень (значение) виброскорости или виброускорения (согласно приложению к СН 2.2.4/2.1.8.566-96).

Примечание. Непостоянная вибрация - вибрация, величина нормируемых параметров которой изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения.

5.4.4.3. При воздействии на работника в течение рабочего дня (смены) как постоянной, так и непостоянной вибрации (общей, локальной) для оценки условий труда измеряют или рассчитывают с учетом продолжительности их действия эквивалентный корректированный уровень (значение) виброскорости или виброускорения (согласно приложению к СН 2.2.4/2.1.8.566-96).

5.4.4.4. При воздействии на работника локальной вибрации в сочетании с местным охлаждением рук (работа в условиях охлаждающего микроклимата класса 3.2) класс вредности условий труда для данного фактора повышают на одну ступень.

Приложение 5

ГОСТ ИСО 8041-2006.МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
Вибрация
ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ НА ЧЕЛОВЕКА
Средства измерений
(дата введения 2008-07-01)
(извлечения)

3 Термины, определения и обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по GUM и ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1.1 ускорение (вибрации): Составляющая ускорения вдоль измерительной оси, определенной соответствующим стандартом на методы оценки общей или локальной вибрации.

3.1.2 полосовой фильтр функции частотной коррекции: Составляющая функции частотной коррекции, представляющая собой передаточную функцию полосового фильтра.

3.1.3 диапазон полосовой фильтрации: Диапазон частот, определенный полосовым фильтром функции частотной коррекции.

3.1.4 номинальный диапазон частот: Диапазон частот, определенный в соответствующем руководстве (нормативном документе) и используемый для анализа (оценки) вибрации.

3.1.5 параметры корректированного ускорения

3.1.5.1 среднеквадратичное значение корректированного ускорения a_w**:** Усредненная по времени поступательная или угловая вибрация, определяемая формулой

$$a_w = \left(\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2}, \qquad (1)$$

где $a_w(\xi)$ - текущее значение корректированного ускорения (поступательного или углового) как функция времени ξ; T - период измерений.

3.1.5.2 уровень корректированного ускорения L_w**:** Уровень среднеквадратичного значения корректированного ускорения, дБ, определяемый формулой

$$L_w = 20 \lg \frac{a_w}{a_0}, \qquad (2)$$

где a_w - величина, определенная в 3.1.5.1, м/с^2; a_0 - опорное значение ускорения, равное 10^{-6} м/с^2.

3.1.5.3 текущее среднеквадратичное значение корректированного ускорения $a_{w,\theta}(t)$**:** Среднеквадратичное значение корректированного ускорения в момент времени t, определяемое формулой

$$a_{w,\theta}(t) = \left(\frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^{t} a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2}, \qquad (3)$$

где $a_w(\xi)$ - текущее значение корректированного ускорения в момент времени ξ; θ - период интегрирования; t - текущее время.

Примечание - В качестве аппроксимации линейного усреднения может быть использовано экспоненциальное усреднение, определяемое формулой

$$a_{w,\tau}(t) = \left(\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t} a_w^2(\xi) \exp\left(\frac{\xi - t}{\tau} \right) d\xi \right)^{1/2}, \qquad (4)$$

где τ - постоянная времени экспоненциального усреднения.

3.1.5.4 максимальное кратковременное среднеквадратичное значение (корректированного ускорения) $MTVV$ **:** Максимальное значение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения для периода интегрирования θ, равного 1 с.

3.1.5.5 доза укачивания $MSDV$ **:** Величина, представляющая собой интеграл квадрата корректированного ускорения $a_w(t)$, выражаемая в м/с^{1,5} и определяемая формулой

$$MSDV = \left(\int_{0}^{\Phi} a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2}, \qquad (5)$$

где Φ - общий период времени, в течение которого наблюдают низкочастотные колебания, вызывающие укачивание (болезнь движения).

3.1.5.6 доза вибрации VDV **:** Величина, представляющая собой интеграл четвертой степени корректированного ускорения $a_w(t)$, выражаемая в м/с^{1,75} и определяемая формулой

$$VDV = \left(\int_{0}^{\Phi} a_w^4(t) dt \right)^{1/4}, \qquad (6)$$

где Φ - общее время воздействия вибрации[1)].

3.1.5.7 полная вибрация a_v **:** Суммарная вибрация по трем осям поступательного движения, определяемая формулой

$$a_v = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2}, \qquad (7)$$

где a_{wx}, a_{wy} и a_{wz} - среднеквадратичные значения корректированного ускорения в направлении трех ортогональных измерительных осей x, y и z соответственно;

k_x, k_y и k_z - поправочные множители (коэффициенты), значения которых зависят от целей измерения.

Приложение 6

СП 23-105-2004. ОЦЕНКА ВИБРАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА (извлечения)

Настоящий Свод правил следует использовать для разработки средств виброзащитных мероприятий в конструкции верхнего строения пути метрополитена при необходимости снижения избыточной вибрации. Приводится порядок подбора требуемых характеристик виброзащитных устройств в зависимости от величины требуемого снижения вибрации, а также значений параметров грунта и характеристик тоннельной конструкции. В приложении 3 дается пример использования Свода правил в конкретной ситуации.

Настоящий Свод правил устанавливает методы измерения и оценки вибрации, генерируемой при движении поездов в метрополитенах, в помещениях жилых и общественных зданий, при определении степени воздействия вибрации на человеческий организм.

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий Свод правил необходимо использовать при получении оценок значений вибрации в ходе проектирования и строительства линий метрополитенов, расположенных в селитебной зоне, а также проектирования и строительства жилых зданий, располагающихся в технической зоне метрополитена.

Положения настоящего Свода правил необходимо использовать при экспериментальном определении на месте динамических и диссипативных характеристик грунта в естественных геологических и вызванных техногенными факторами условиях города, необходимых при прогнозировании величин вибрации в наземных зданиях и сооружениях, расположенных в зоне возможного влияния проектируемых линий метрополитена, с целью проверки их на соответствие требованиям СНиП 32-02, а также при разработке конкретных технических решений по виброзащите зданий и сооружений.

Положения настоящего Свода правил необходимо использовать при разработке конструкций виброзащитных устройств верхнего строения пути метрополитена в случае превышения предельно допустимых санитарными нормами величин вибрации на поверхности грунта в примыкающих к линии метро районах жилой и административной застройки, в станционных помещениях и на платформах станций метрополитена. Помимо этого, настоящий Свод правил необходимо использовать для снижения избыточных уровней шума на станциях и в зданиях на поверхности грунта, если акустическая эмиссия связана с преобладающей структурной компонентой (в октавном диапазоне 63 Гц). Контроль достигаемой эффективности разрабатываемых мероприятий и прогнозируемых уровней виброскорости и шума при этом проводится в соответствии с требованиями СНиП 32-02.

Настоящий Свод правил устанавливает методы измерения и оценки вибрации, генерируемой при движении поездов метрополитенов в помещениях жилых и общественных зданий, при определении степени воздействия вибрации на человеческий организм.

3 РАСЧЕТ ВИБРАЦИИ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

3.1 Общие положения

3.1.1 Расчет вибрации от движения поездов метрополитена проводится при прогнозировании ожидаемых значений вибрации в зданиях, расположенных в зоне возможного влияния проектируемых линий метрополитена, с целью проверки их на соответствие требованиям СНиП 32-02, а также при разработке конкретных технических решений по виброзащите зданий и сооружений.

3.1.2 Оценку вибрации от движения поездов метрополитена в жилых помещениях, палатах больниц, санаториев необходимо проводить для ночного времени суток. Рассчитываемыми параметрами вибрации в соответствии с настоящим Сводом правил являются:

- корректированные максимальные и эквивалентные значения виброскорости $\tilde{v}_{max}$ и $\tilde{v}_{eq}$, м/с;

- максимальные и эквивалентные значения виброскорости $\tilde{v}_{max}$ и $\tilde{v}_{eq}$ м/с, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 16, 31,5 и 63 Гц, наиболее характерных для метрополитена.

3.1.3 В качестве дополнительного параметра вибрации могут использоваться уровни виброскорости L (дБ), определяемые соотношением вида $L = 20\lg(v/v_0)$, где в качестве величины v выступают перечисленные выше параметры; v_0 - пороговая величина виброскорости, равная $5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

3.1.4 При проектировании в селитебной зоне линий метрополитена необходимо выполнение следующих условий:

$$v \le v_{доп}, \; L \le L_{доп}, \tag{3.1}$$

где v и L - ожидаемые абсолютные величины и уровни виброскорости в оцениваемом здании соответственно в м/с и дБ; $v_{доп}$ и $L_{доп}$ - допустимые абсолютные величины и уровни виброскорости, принимаемые в соответствии с СНиП 32-02 по таблице 3.1.

Таблица 3.1

Нормативные значения для оценки вибрационного воздействия

Помещения, здания	Допустимое значение							
	$v_{max} \cdot 10^4$, м/с	L_{max}, дБ	$v_{eq} \cdot 10^5$, м/с	L_{eq}, дБ	$\tilde{v}_{max} \cdot 10^4$, м/с	L_{max}, дБ	$\tilde{v}_{eq} \cdot 10^5$, м/с	L_{eq}, дБ
Жилые	1,1	67	3,5	57	2,3	73	7,4	63
Палаты больниц и санаториев	0,8	64	2,6	54	1,7	70	5,4	60
Административно- управленческие, обществен-е здания	2,8	75	9,0	65	5,9	81	18,8	71
Учебные заведения, читальные залы библиотек	2,0	72	6,4	62	4,2	78	13,4	68

3.1.5 В случае, когда расчетные величины вибрации превышают допустимые значения, рекомендуется предусматривать специальные виброзащитные мероприятия и устройства, которые подразделяются на следующие типы:

- устройства, уменьшающие динамические нагрузки при взаимодействии колесной пары с верхним строением пути;
- амортизирующие устройства в конструкции верхнего и нижнего строения пути;
- виброзащитные конструкции обделок тоннелей метрополитенов;
- экранирующие конструкции в грунте;
- амортизирующие элементы в конструкции зданий.

Выбор средств защиты от вибрации производится с учетом их эффективности и экономической целесообразности.

3.1.6 Прогнозирование величин виброскорости в жилых зданиях и подбор виброзащитных мероприятий проводятся в следующей последовательности:

а) оцениваются величины вибрации обделок тоннелей и лотковой части пути метрополитена;

б) задается или определяется в соответствии с разделом 4 исходное для расчета геологическое строение верхней части грунта: число и толщины слагающих слоев верхней части грунта общей толщиной $H \geq h + 10$ м, где h - расстояние от поверхности грунта до лотка;

в) определяются массовые, динамические упругие и диссипативные параметры слагающих грунтов: плотность, скорости продольных и поперечных волн и коэффициент затухания в каждом слое;

г) определяются ожидаемые значения виброскорости поверхности грунта;

д) проверяются условия и в случае их невыполнения подбираются виброзащитные мероприятия в соответствии.

3.1.7 Динамические характеристики грунтов, необходимые для расчета величин вибрации в зданиях, определяются в процессе геологических изысканий или на основе прямых акустических измерений на месте.

3.2 Расчет величин вибрации обделок тоннелей

3.2.1 Исходными расчетными параметрами колебаний обделок тоннелей метрополитена являются величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости ее лотковой части (v_1^0 и v_2^0), определяемые в октавных полосах частот 16, 31,5 и 63 Гц для принятой в качестве типовой конструкции обделки кругового сечения, выполненной из сборного железобетона, а также типовой конструкции верхнего строения пути и заданной структуры окружающего грунта. Конкретные значения параметров приводятся в таблице 3.2. Представленные значения получены в ходе прямых измерений на действующих линиях метрополитена.

Таблица 3.2

Исходные данные для расчета.
Величины вибрации на типовой обделке

Скорость продольных волн в грунте		600	м/с
Скорость поперечных волн в грунте		200	м/с
Плотность грунта		1800	кг/м^3
Толщина обделки		0,2	м
Радиус обделки		2,6	м
Частота (Гц)	16	31,5	63
Максимальная величина горизонтальной компоненты виброскорости (м/с)	0,00011	0,00096	0,00083
Максимальная величина вертикальной компоненты виброскорости (м/с)	0,00011	0,00096	0,00083
Эквивалентная величина горизонтальной компоненты виброскорости (м/с)	0,00006	0,00055	0,00048
Эквивалентная величина вертикальной компоненты виброскорости (м/с)	0,00006	0,00055	0,00048

3.2.2 В ходе процедуры вычислений производится перерасчет величин виброскорости на типовой обделке (кругового сечения) в значения виброскорости на реально рассматриваемой обделке произвольного сечения с заданными грунтовыми условиями. Величина виброскорости лотковой части тоннеля определяется по формуле

$$v = \left| \frac{\omega p l_2}{EJk^4 + K_y + i\omega K_c - m\omega^2} \right|, \qquad (3.2)$$

где l_2 - ширина тоннеля; E - модуль Юнга стен тоннеля; m - погонная масса обделки тоннеля;

$$\omega = 2\pi f, \; K_y = \frac{6\sqrt{l_2 k}\mu_г}{2 + \mu_г/(\lambda_г + 2\mu_г)}, \; K_c = -\rho c l_2, \; k = 0{,}7 \text{ м}^{-1},$$

J - момент инерции поперечного сечения тоннеля; ρ, $\lambda_г$, $\mu_г$ - плотность и коэффициенты Ламэ прилегающего грунта; c - скорость распространения продольных упругих волн в грунте; f - частота колебаний.

Величина p вычисляется по формуле

$$p = \left| \frac{v(EJk^4 + K_y + i\omega K_c - m\omega^2}{i\omega R} \right|^*, \qquad (3.3)$$

где все параметры в выражении - те же, что и в (3.2), но принятые для стандартизованного тоннеля, величины виброскорости для которого приведены в таблице 3.2, $R = 2{,}75$ м - радиус обделки тоннеля.

3.2.3. На стадии разработки технико-экономического обоснования или проекта перегонных тоннелей линии метрополитена величины виброскорости на лотковой части обделки допускается оценивать на основе результатов натурных измерений, проведенных на эксплуатируемых участках линий метрополитена, имеющих аналогичную конструкцию обделки и верхнего строения пути, а также находящихся в аналогичных, как и проектируемый участок, инженерно-геологических условиях. При этом различие свойств грунта и скорости движения поездов не должно превышать 10-15%. Пример расчета приводится в приложении Б.

3.3 Расчет величин вибрации лотковой части станций, тупиков и камер съезда

3.3.1 Исходным расчетным параметром колебаний элементов конструкции станций, тупиков, камер съезда метрополитена является значение динамической силы, действующей на лотковую часть тоннеля. Величина последней определяется в октавных полосах частот 16, 31,5 и 63 Гц, для типовой конструкции обделки, имеющей прямоугольное сечение и выполненной из сборного железобетона, типовой конструкции верхнего строения пути и заданной структуры непосредственно прилегающего к лотковой части грунта. Конкретные значения параметров приводятся в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Исходные параметры для расчета.
Значение динамической силы, действующей на лотковую часть тоннеля

Модуль деформации грунта		18	МПа
Коэффициент Пуассона грунта		0,3	
Плотность грунта		1700	кг/м^3
Толщина лотковой части тоннеля		0,5	м
Ширина лотковой части тоннеля		19	м
Модуль деформации лотковой части конструкции		30000	МПа
Коэффициент Пуассона лотковой части конструкции		0,2	
Плотность лотковой части конструкции		2300	кг/м^3
Частота (Гц)	16	31,5	63
Приведенная динамическая сила (Н/м)	1	0,25	2

3.3.2. В ходе процедуры вычислений производится перерасчет величин виброскорости на лотковой части типовой обделки тоннеля (прямоугольного сечения) в значения виброскорости на лотковой части рассматриваемого сооружения

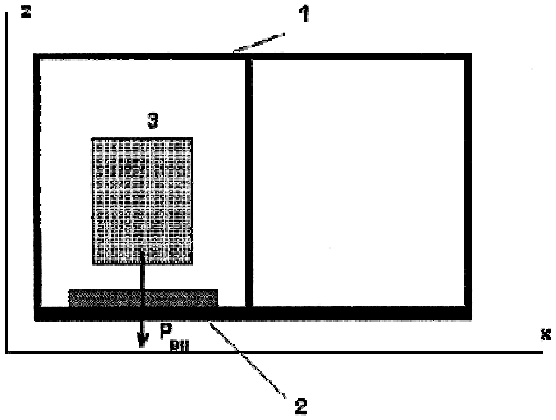
(станции, тупика, камеры съезда) с заданными грунтовыми условиями. В качестве исходных стандартизованных величин вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости используются вычисленные величины, полученные в вычислительной части подпрограммы из заданных параметров лотковой части конструкции и непосредственно прилегающего грунта.

3.3.3 Для расчета величин виброскорости элементов конструкции станций, тупиков, камер съезда метрополитена применяется следующая модель.

В декартовой системе координат рассмотрим лежащую на полуплоскости ($z < 0$) площадку толщины h в виде бесконечной в направлении y полосы и ширины X в направлении x (рисунок 3.1). Далее разобьем площадку на систему балок, каждая из которых имеет высоту h, бесконечна в направлении y и ширину l_2. Величина виброскорости каждой балки определяется по формуле

$$v = \left| \frac{\omega P_{\text{вн}} l_2}{EJk^4 + K_y + i\omega K_c - m\omega^2} \right|, \tag{3.4}$$

где $K_y = \dfrac{6\sqrt{l_2 k}\mu_{\text{г}}}{2 + \mu_{\text{г}}/(\lambda_{\text{г}} + 2\mu_{\text{г}})}$; $K_c = -\rho c l_2$; $k = \left(\dfrac{m\omega^2}{EJ}\right)^{\frac{1}{4}}$; $J = \dfrac{h^3 l^2}{12}$ - момент инерции балки; m, l_2, h - соответственно погонная масса, ширина и высота балки; E - модуль Юнга материала балки; $\lambda_{\text{г}}$ и $\mu_{\text{г}}$ - коэффициенты Ламэ; ρ - плотность грунта; c - скорость продольных волн в грунте; $P_{\text{вн}}$ - внешняя сила, действующая со стороны поезда на балку, остальные обозначения приводятся в 3.2.2 настоящего СП.



$P_{\text{вн}}$ - приведенная динамическая сила, действующая на лоток со стороны поезда; 1 - обделка; 2 - лоток; 3 – поезд

Рисунок 3.1 - Схема расчета

Таким образом, для известных сил $P_{\text{вн}}$ найдем виброскорости балок с точностью до констант из общего решения, определяемых условиями на границе балки. Общее решение для виброскорости лотковой части тоннеля находится из решения линейной системы уравнений на вышеупомянутые константы, составленной из уравнений на граничные условия для балок, а именно на условия равенства смещений и виброскоростей примыкающих друг к другу краев балок. Величины сил $P_{\text{вн}}$ для каждой балки определяются пересчетом экспериментальных данных, выполненных по формуле (3.3).

3.3.4. На стадии разработки технико-экономического обоснования или проекта подземных сооружений метрополитена (станций, тупиков и камер съезда) величины виброскорости лотковой части допускается оценивать на основе результатов натурных измерений, проведенных на действующих сооружениях метрополитена, имеющих аналогичную конструкцию помещения и верхнего строения пути, а также находящихся в аналогичных, как и проектируемый объект, инженерно-геологических условиях. При этом различие свойств грунта и скорости движения поездов не должно превышать 10-15%.

3.4 Расчет ожидаемых значений вибрации поверхности грунта вблизи перегонных тоннелей, станций, тупиков и камер съезда

3.4.1 Вертикальные и горизонтальные составляющие виброскорости на поверхности грунта определяются по формуле

$$v_{1,2}(i) = \sqrt{v_R^2 + v_{1,2l}^2}\,. \qquad (3.5)$$

Здесь v_R - виброскорость, вызванная волной Рэлея, вычисляемая по формуле

$$v_R = \sqrt{\frac{R_0}{H_0}}\, v_{\max} \exp(-\beta k_R x)\,; \qquad (3.6)$$

β - коэффициент затухания в грунте; k_R - волновое число волны Рэлея; $v_{1,2l}$ - соответствующие проекции виброскорости, вызванные продольной волной в грунте, вычисляемые по формуле

$$v_{1,2l} = \sqrt{\frac{R_0}{\sqrt{x^2 + H_0^2}}}\sqrt{v_{1\max}^2 + v_{2\max}^2}\,\exp(-\beta k_l \sqrt{x^2 + H_0^2})\,.$$

Причем H_0 - глубина, на которой находится лотковая часть обделки тоннеля; x - удаление от продольной оси тоннеля; R_0 - характерный размер, представляющий собой минимальное из $D/2$ - половины ширины тоннеля; $k_R = \frac{c_l}{\omega}$ - отношению скорости продольных волн в грунте к круговой частоте; $v_{1,2\max}$ - максимальные величины виброскорости на лотковой части обделки тоннеля, принимаемые в соответствии с разделом 4; $v_{\max}$ - максимальное из них.

3.4.2 Величины виброскорости (максимального или эквивалентного) поверхности грунта в октавных полосах частот $v_{1,2}(i)$ при использовании виброзащитных мероприятий определяются по формуле

$$v_{1,2}(i) = v_{1,2}^0(i) K_{1,2}(i) / D(i)\,, \text{ м/с,}$$

где $D(i)$ - эффективность одного или нескольких одновременно используемых виброзащитных мероприятий в октавной полосе с номером i, которая определяется по таблице В.1, приведенной в приложении В настоящего Свода правил, или рассчитывается в соответствии с разделом 5 (см. также таблицу Ж.1 в приложении Ж).

3.4.3 Корректированная величина виброскорости вычисляется по формуле

$$v_{1,2}^{\text{корр}} = \sqrt{v_{1,2}(1)^2 + v_{1,2}(2)^2 + v_{1,2}(3)^2}\,.$$

Величины $v_{1,2}(i)$ вычисляются в разделах 6.1 или 6.2 настоящего Свода правил.

3.4.4 Эквивалентное корректированное значение виброскорости вычисляют по формуле

$$v_{eq}^{\text{корр}} = \sqrt{\frac{1}{T_r}\sum_j T_{ej}\,(v_{\max,j}^{\text{корр}})^2}\ .$$

Здесь T_r - время оценки вибрационного воздействия; T_{ej} - частичное время воздействия вибрации, соответствующее реализации j-го режима движения поездов; $v_{\max,j}^{\text{корр}}$ - максимальное корректированное значение виброскорости, характеризующее интенсивность вибрации за время T_{ej}.

Значения величин времени воздействия вибрации определяются согласно предполагаемому графику движения поездов на линии метрополитена.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА ПРИ РАСЧЕТАХ ВИБРАЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ОТ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

4.1 Общие положения

4.1.1 За критерий вибрации принимаются абсолютные максимальные и эквивалентные величины $v_{\max}$, v_{eq} в октавных диапазонах (со среднегеометрическими частотами 16, 31,5 и 63 Гц), м/с^2, а также корректированные максимальные и эквивалентные величины. Допускается также пользоваться соответствующими перечисленным величинам v уровнями виброскорости, определяемыми соотношением:

$$L = 20\lg(v/v_0)\text{, дБ,} \qquad (4.1)$$

где v_0 - пороговая величина виброскорости, равная $5\cdot10^{-8}$ м/с. Величина виброскорости v определяется в соответствии с разделом 3.

4.1.3 При использовании положений раздела 3 в расчетах амплитуд виброскорости на поверхности грунта требуется задание следующих параметров грунтовых условий:

- типа стратификации (число слоев);
- плотности грунта в каждом слое ρ;
- скоростей продольных и поперечных упругих волн c_l и c_t в каждом слое;
- коэффициента затухания β в каждом слое.

4.1.4 При анализе распространения вибрации в грунте от тоннелей метрополитена расчеты следует проводить в нормируемых октавных диапазонах со среднегеометрическими частотами 16, 31,5 и 63 Гц, так как именно в этих октавах при движении поездов метрополитена наблюдаются наибольшие превышения значений вибрации в зданиях над нормативными величинами.

4.2 Оценка упругих динамических, массовых и диссипативных параметров грунта

4.2.1 В соответствии с разделом 3 (3.1.6, в) при расчетах величин вибрации на поверхности грунта требуется определение следующих параметров грунтовых условий в заданном районе:

- стратификации - число слоев и толщину каждого слоя (далее принимается общее число слоев $1 \le N_c \le 3$ с существенно отличающимися свойствами);

- плотности грунта в каждом слое ρ;

- скоростей продольных и поперечных упругих волн c_l и c_t в каждом слое;

- коэффициента затухания β в каждом слое.

Максимальное число слоев 3 выбрано с учетом многочисленных расчетов, проделанных в реальных городских условиях. Этого числа достаточно для достижения требуемой точности оценок величин виброскорости в 2-3 дБ.

Если динамические и диссипативные свойства двух соседних слоев отличаются соответственно менее чем в 1,5 и 2 раза, данные слои объединяются в один с общей суммарной толщиной $h = h_1 + h_2$ и средними скоростями распространения упругих волн и коэффициента затухания.

4.2.2 При определении структуры верхней части грунта на предварительном этапе анализа геологической ситуации необходимо руководствоваться имеющейся геологической информацией: схемами разрезов вдоль трассы и т.п. Используя значения, представленные в приложении А и правило объединения слоев с близкими свойствами из п.4.2.1, строим начальную одно-, двух- или трехслойную модель грунта. При этом толщины слоев задаются окончательно, а их динамические и диссипативные параметры требуют дальнейшего уточнения.

4.2.3 Если предварительная информация о геологическом строении грунта отсутствует, необходимо решать полную обратную задачу с неизвестным числом слоев, их толщинами, динамическими и диссипативными свойствами.

4.2.4 Вследствие того, что в городских условиях плотность грунта меняется незначительно (1600-2000 кг/м^3), этим изменением в пределах приемлемой точности расчетов можно пренебречь и считать ее постоянной $\rho = 1800$ кг/м^3.

4.2.5 Коэффициент Пуассона для грунта в городских условиях меняется в пределах от 0,1 до 0,45. Несмотря на это, опыт расчетов показывает, что конкретная величина данного коэффициента оказывает незначительное влияние на величину виброскорости. В силу этого в пределах приемлемой точности расчетов можно считать его постоянным и равным его среднему значению $\nu = 0{,}4$.

4.2.6 Чтобы учесть зависимость определяемых параметров от частоты, а также, принимая во внимание 4.1.4, расчеты следует проводить в октавных диапазонах со среднегеометрическими частотами 16, 31,5 и 63 Гц.

4.2.7 Решение обратной задачи оценки параметров грунта производится методом подбора их конкретных величин с подстановкой в расчетную схему, изложенную в разделе 3 и сравнением рассчитанных значений с набором измеренных величин на разных расстояниях от источника вибрации. При этом поступать надо следующим образом. В качестве начального приближения берутся нижние значения скорости продольных волн и минимальные величины коэффициента затухания (см. приложение А) для соответствующего грунта. Задаются также максимальные значения тех же параметров для соответствующего типа грунта.

Подставляя значения для скоростей продольных и поперечных волн и коэффициента затухания в каждом слое в расчетную схему, описанную в разделе 3.4, находим величины виброскорости в тех же точках, в которых производились измерения. Если получаемая невязка не превосходит точности измерений (обычно это 2-3 дБ), тогда задача оценки параметров считается решенной.

4.2.8 Если исходные данные по геологическому строению грунта в рассматриваемом районе отсутствуют, тогда из исходных данных исключается информация о стратификации, при этом дополнительными неизвестными параметрами являются число слоев (от 1 до 3) и толщина каждого слоя (общее число дополнительных параметров от 1 до 4). Анализ ведется, начиная с простейшей однослойной модели, если при этом требуемая точность не достигается, осуществляется переход к двух- и трехслойным стратификациям. Выбор толщины каждого слоя осуществляется из учета характера поведения поля вибрации, полученного в эксперименте, на малом и большом расстоянии от источника.

Начальными значениями для скорости продольных волн выбирается величина $c = 100$ м/с, а для коэффициента затухания $\beta = 0{,}05$.

4.2.9 В случае наличия предварительной информации о геологическом строении верхней части грунта дополнительными исходными данными (параметрами) являются:

- тип стратификации, т.е. число слоев в верхней части грунта до глубины, определяемой выражением (4.3) с учетом 4.2.1 настоящего Свода правил;
- толщина каждого слоя;
- минимальная и максимальная величина скорости продольных волн для каждого слоя (приложение А);
- минимальная и максимальная величина коэффициента затухания продольных волн для каждого слоя (приложение А).

5 ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

5.1 Общие положения

5.1.1 Порядок оценки вибрации от движения поездов метрополитена необходимо проводить в соответствии с разделом 3 настоящего Свода правил.

При оценке эффективности разрабатываемого мероприятия по снижению избыточных величин вибрации необходимо учитывать октавные диапазоны частот 16, 31,5, 63 Гц, а при контроле структурного шума - диапазон 63 Гц. Последнее связано с требованиями санитарных норм и особенностями спектра возбуждаемой поездами метрополитена вибрации.

5.1.2 В качестве нормируемых параметров вибрации в соответствии с положениями СНиП 32-02 принимаются максимальные и эквивалентные значения виброскорости $v_{\max}$ и v_{eq} м/с, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 16, 31,5 и 63 Гц, наиболее характерных для метрополитена, а также корректированные максимальные и эквивалентные величины.

Для удобства оценки величины превышения вибрации, а также определения эффективности виброзащитного мероприятия будут использоваться также уровни виброскорости, определяемые по формуле (4.1).

5.1.3 При проектировании виброзащитных мероприятий верхнего строения пути на линиях, расположенных в пределах селитебной зоны, а также в помещениях станций метрополитена требуется выполнение условий (3.1). На станции метрополитена условие (3.1) проверяется в 1 м от края платформы.

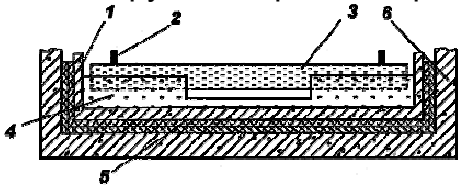
5.1.4 В случае, когда расчетные значения виброскорости в жилом здании или помещении (платформе) станции превышают нормативные значения и после применения предлагаемого технического решения виброизолирующей конструкции верхнего строения пути (достигаемая эффективность меньше требуемой), рекомендуется предусматривать дополнительные виброзащитные мероприятия и устройства, которые подразделяются на следующие типы:

- устройства, уменьшающие динамические нагрузки при взаимодействии колесной пары с верхним строением пути;
- виброзащитные конструкции обделок тоннелей метрополитенов;
- экранирующие конструкции в грунте;
- амортизирующие элементы в конструкции зданий.

5.2 Расчет конструкции виброизоляции верхнего строения пути для метрополитена

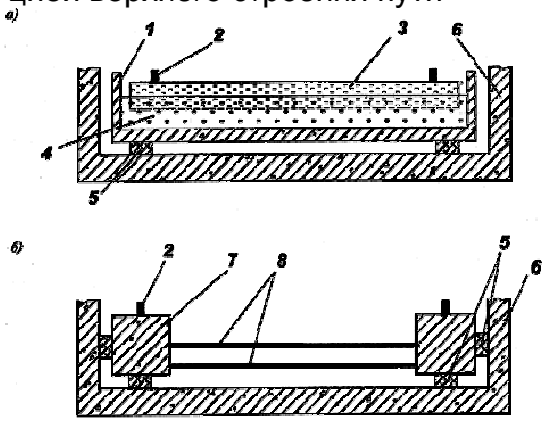
5.2.1 Одним из наиболее эффективных средств борьбы с вибрацией, возбуждаемой движением поездов метрополитена, является виброизоляция верхнего строения железнодорожного полотна эластичными резиновыми прокладками и амортизаторами. При этом смещается собственная частота колебаний обделки в сторону более низких частот и уменьшается амплитуда вибрации во всем диапазоне частот, за исключением новой собственной частоты.

На рисунках 5.1, 5.2 приводится общая компоновка различных вариантов исполнения виброизолирующей конструкции верхнего строения пути.



1 - балластное корыто, 2 - рельс, 3 - шпала, 4 - щебеночная постель, 5 - трехслойный резиновый мат, 6 - обделка тоннеля

Рисунок 5.1 - Система виброизоляции эластичными матами под конструкцией верхнего строения пути



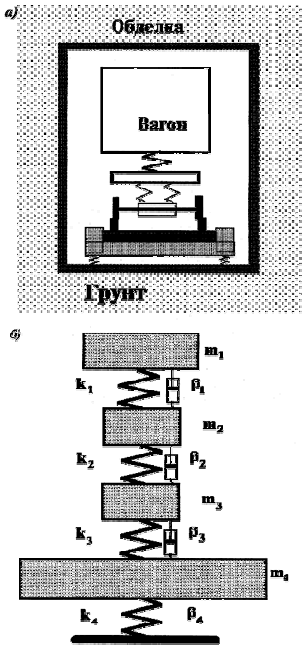
а - амортизаторами под конструкцией верхнего строения пути; б - амортизаторами под лежнями 1 - балластное корыто; 2 - рельс; 3 - шпала; 4 - щебеночная постель; 5 - амортизатор; 6 - обделка тоннеля; 7 - лежень; 8 - стальные связи

Рисунок 5.2 - Система виброизоляции

При этом, как видно из рисунков, возможна реализация конструкции из сплошных эластичных матов (рисунок 5.1) и из отдельных элементов (амортизаторов) (рисунок 5.2). Во втором случае возможно размещение виброизолирующих

элементов под балластным слоем (в дальнейшем вариант 1) и под несущими элементами рельсового пути (шпалами, лежнями - вариант 2). По сути оба типа конструкции (из сплошных и дискретных элементов) эквивалентны, в силу чего требуется выдерживать усредненные характеристики конструкции (упругость, масса, коэффициент диссипации, приведенные к длине вагона). Далее будут рассматриваться два варианта реализации с виброизолирующими элементами под балластным слоем (вариант 1) и амортизаторами под лежнями (вариант 2), общие схемы конструкций показаны на рисунках 5.1, 5.2.

5.2.2 Общая схема и физическая модель системы "поезд в тоннеле с виброизоляторами в верхнем строении пути" представлена на рисунке 5.3.



а - механическая схема; б - физическая модель системы
Рисунок 5.3 - Взаимодействующие вязкоупругие элементы в системе "вагон - виброизоляционная конструкция верхнего строения пути"

Параметры, входящие в модель, имеют следующий смысл: m_1 - масса вагона с пассажирами без учета тележки и колесных пар; m_2 - масса двух тележек; m_3 - масса колесных пар+масса верхнего строения пути: корыта, щебня, рельсов (вариант 1) или масса лежней и рельсов (вариант 2) на длине вагона; m_4 - масса обделки+масса грунта на длине вагона (+масса балластного слоя для варианта 2); k_1 и β_1 - жесткость и коэффициент демпфирования центрального подвешивания; k_2 и β_2 - жесткость и коэффициент демпфирования буксового подвешивания; k_3 и β_3 - жесткость и коэффициент демпфирования амортизаторов на длине вагона; k_4 и β_4 - жесткость и коэффициент демпфирования грунта и обделки на длине вагона.

5.2.9 Суммарная жесткость амортизаторов должна обеспечивать удовлетворение требований на вертикальную просадку пути и боковое смещение. При

этом предполагается, что максимально допустимые вертикальные и горизонтальные смещения пути должны составлять величину от 4 до 6 мм).

5.3 Дополнительные мероприятия в верхнем строении пути по снижению возбуждаемой вибрации

5.3.1 Установка под щебеночную постель шероховатого трехслойного резинового мата толщиной 3 см приводит к уменьшению уровней вибрации, начиная с частотного диапазона 63 Гц (таблица 5.1). Аналогичный эффект достигается при укладке под щебеночную постель минераловолокнистых плит толщиной 10 см.

Таблица 5.1

Эффективность шероховатого трехслойного резинового мата толщиной 3 см, устанавливаемого под щебеночную постель

Октава со среднегеометрической частотой, Гц	Эффективность, дБ
16	-2
31,5	0
63	4
125	7
250	10
500	15

5.3.2 Использование вместо балластного корыта с щебеночной засыпкой сплошной плиты толщиной 40 см ведет к повышению эффективности виброизолирующей конструкции. Значения соответствующей дополнительной эффективности приводятся в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Эффективность шероховатого трехслойного резинового мата толщиной 3 см, устанавливаемого под сплошную плиту толщиной 40 см

Октава со среднегеометрической частотой, Гц	Дополнительная эффективность $\Delta L_{эфф}$, дБ
16	-7
31,5	5
63	11
125	4
250	15
500	22

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(рекомендуемое)
РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ВИБРОСКОРОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ВБЛИЗИ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ

Определение величин вибрации поверхности грунта проводится в соответствии с разделами 4, 6 настоящего Свода правил.

Необходимо задать следующие исходные данные:

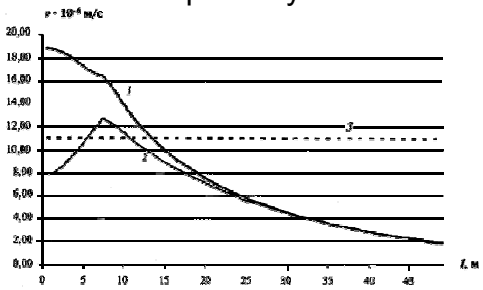
- величины виброскорости лотковой части обделки тоннеля, определяемые в октавных полосах (таблица 3.2) или непосредственно с учетом 4.3 настоящего Свода правил;
- параметры грунта;
- параметры обделки, включая геометрическую форму и размеры, массовые и упругие характеристики материала обделки;
- данные о глубине заложения тоннеля и расстояние от оси тоннеля до контрольной точки.

Пример расчета

Определить амплитуды виброскорости на поверхности грунта, возбуждаемого движением поездов метрополитена в тоннеле с глубиной заложения 12 м от основания лотка до поверхности. Строение пути - типовое (деревянные шпалы, утопленные в бетон). Конструкция обделки тоннеля - цельносекционная железобетонная (приложение Г настоящего Свода правил, рисунок Г.2). Геологическая обстановка - суглинок тугопластичный с плотностью 1700 кг/м^3, скоростями распространения продольных и поперечных волн соответственно 600 и 250 м/с и декрементом затухания во всем нормируемом диапазоне частот 0,1.

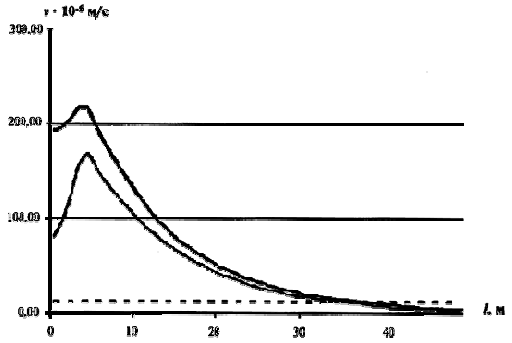
Зависимости максимальных величин вибрации в октавных диапазонах 16, 31,5 и 63 Гц от расстояния до стены тоннеля (в плане) приводятся соответственно на рисунках Б.1-Б.3. Все расчеты производятся для максимальных значений виброскорости.

На тех же рисунках приводятся для сравнения нормативные значения виброскорости для жилых зданий в ночное время суток.



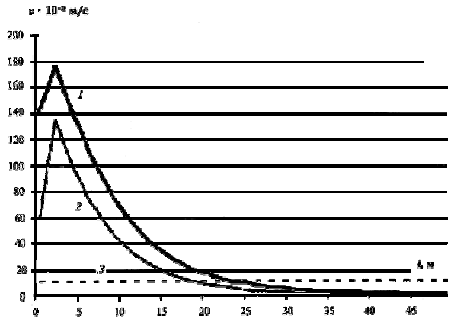
1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

Рисунок Б.1 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля l в октавном диапазоне 16 Гц



1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

Рисунок Б.2 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля l в октавном диапазоне 31,5 Гц



1 - вертикальная составляющая; 2 - горизонтальная составляющая; 3 - нормативное значение

Рисунок Б.3 - Зависимость максимальной величины вертикальной и горизонтальной составляющих виброскорости v от расстояния до тоннеля l в октавном диапазоне 63 Гц

Переход к эквивалентным значениям производится по формуле, представленной в 6.4 настоящего Свода правил с учетом реального режима движения поездов на рассматриваемой линии метрополитена.

Расчет дает следующие результаты:

Удаление 10 м 16 Гц - $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 2 дБ;

31,5 Гц - $1{,}2 \cdot 10^{-4}$ м/с, превышение составляет 21 дБ;

63 Гц - $6{,}4 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 15 дБ.

Корректированная величина - $3{,}5 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 9 дБ.

Удаление 20 м 16 Гц - $7{,}3 \cdot 10^{-6}$ м/с, превышение отсутствует;

31,5 Гц - $4{,}9 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 13 дБ;

63 Гц - $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 4 дБ.

Корректированная величина - $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение составляет 2 дБ.

Для снижения величин вибрации в частотных октавных диапазонах 16, 31,5 и 63 Гц могут быть использованы плиты жесткости в основании и перекрытии тоннеля в комбинации со стеной в грунте, прилегающей к стене обделки со стороны расчетных точек. Задаем толщину плит и стены в грунте, равную 40 см. Расчет

максимальных корректированных величин виброскорости приводит к следующим результатам:

Удаление 10 м

Корректированная величина - $1{,}1 \cdot 10^{-5}$ м/с, превышение отсутствует.

Удаление 20 м

Корректированная величина - $4{,}0 \cdot 10^{-6}$ м/с, превышение отсутствует.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИБРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Таблица В.1.

Значения эффективности некоторых виброзащитных устройств

Тип виброзащитного устройства	Эффективность $\Delta L_{эфф}$ виброзащитного устройства (дБ) в октавах			
	16 Гц и 31,5 Гц		63 Гц	
Устройства в рельсовых скреплениях	3		5	
Балластное корыто на амортизаторах	8		13	
Железобетонные рамы, опирающиеся на амортизаторы	9		13	
Подшпальные амортизирующие прокладки	~0		8	
Железобетонные лежни	~0		13	
Плиты жесткости	В основании тоннеля	В основании и перекрытии тоннеля	В основании тоннеля	В основании и перекрытии тоннеля
Толщина, м				
0,2	3	5	2	4
0,4	5	7	4	7
0,6	6	10	6	9
0,8	7	12	7	11

Представленные в таблице В.1 значения эффективности $\Delta L_{эфф}$ вычисляются по формуле

$\Delta L_{эфф} = 20\lg \dfrac{v}{v_{взм}}$, здесь v и $v_{взм}$ - амплитуда виброскорости без учета и с учетом виброзащитного мероприятия в октавной полосе со среднегеометрической частотой 16, 31,5 или 63 Гц.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(рекомендуемое)

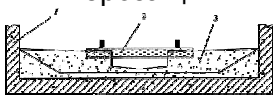
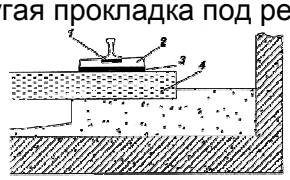
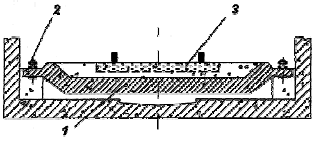
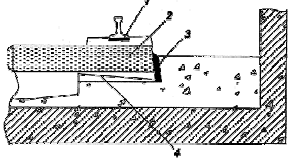
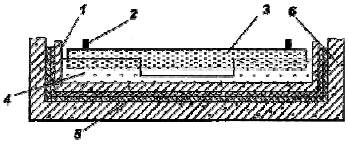
СВОДКА ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящем приложении представлены основные виброзащитные устройства, применяемые в перегонных тоннелях метрополитена. Для каждого устройства приводится оценка эффективности. При этом эффективность подсчитывалась по формуле (4.1). В зависимости от конструкции тоннеля и характеристик окружающего грунта приведенная оценка может меняться в пределах ±2 дБ.

В сводной таблице Ж.1 представлены конструкции для обделки прямоугольного типа. Аналогичные результаты получаются и для других конструкций: круглой и прямоугольной сдвоенной.

Таблица Ж.1

Эффективность виброзащитных устройств

Поперечный профиль пути на перегоне без применения виброзащитных мероприятий  1 - путевой бетон; 2 - шпала; 3 - обделка	$f = 16$ Гц $\Delta L \sim 0$ $f = 31{,}5$ Гц $\Delta L \sim 0$ $f = 63$ Гц $\Delta L \sim 0$
Упругая прокладка под рельс  1 - прокладка резиновая; 2 - подкладка стальная; 3 - прокладка гомбелит или фанера клееная, резина; 4 - деревянная шпала	$f = 16$ Гц $\Delta L \sim 0$ $f = 31{,}5$ Гц $\Delta L \sim 0$ $f = 63$ Гц $\Delta L \sim 0$
Конструкция балластного корыта на амортизаторах  1 - балластное корыто; 2 - упругая подвеска-амортизатор; 3 - шпала	$f = 16$ Гц $\Delta L \sim 0 - 7$ дБ $f = 31{,}5$ Гц $\Delta L \sim 7 - 12$ дБ $f = 63$ Гц $\Delta L \sim 15 - 20$ дБ
Упругая прокладка под шпалу  1 - прокладка резиновая; 2 - шпала деревянная; 3 - прокладка боковая; 4 - прокладка регулировочная	$f = 16$ Гц $f = 31{,}5$ Гц $\Delta L \sim 0$ дБ $f = 63$ Гц $\Delta L \sim 5$ дБ
Упругий мат под бетонным основанием пути  1 - обделка; 2 - рельс и шпала; 3 - путевой бетон; 4 - виброизолирующий мат; 5 - герметик; 6 - балластное корыто	$f = 16$ Гц $\Delta L \sim 0 - 3$ дБ $f = 31{,}5$ Гц $\Delta L \sim 7 - 10$ дБ $f = 63$ Гц $\Delta L \sim 15 - 20$ дБ

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(рекомендуемое)

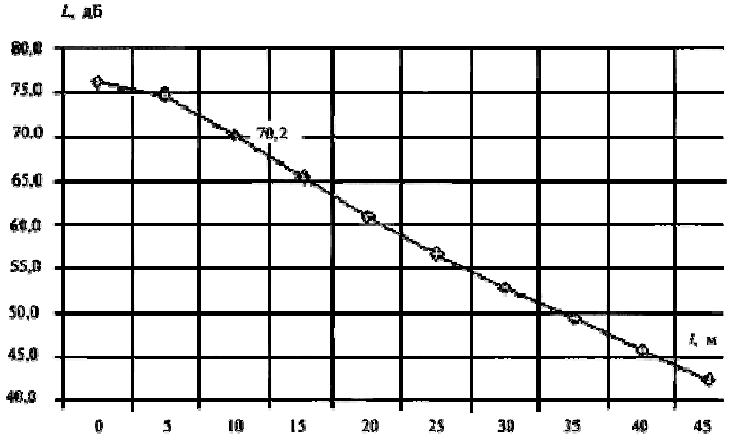
ПРИМЕР ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

Исходные данные

Пусть на участке линии метрополитена имеется типовая конструкция тоннельной обделки прямоугольного очертания с глубиной заложения 10 м (от оси тоннеля до поверхности грунта). Грунтовые условия определяются типичными для Москвы влажными песчаными грунтами со скоростью продольных и поперечных упругих волн соответственно 900 и 170 м/с, плотностью 1800 кг/м^3 и декрементом затухания 0,1. Величины возбуждаемых на поверхности грунта уровней вибраций определяются согласно разделу 3 и представлены на рисунке 3.1: а - 31,5 Гц; б - 63 Гц. Этим частотным диапазонам соответствуют предельно допустимые санитарными нормами значения в жилых помещениях для ночного времени 57 дБ.

а)

б)



а - f = 31,5 Гц; б - f = 63 Гц

Рисунок 3.1 - Зависимость величины возбуждаемой вибрации от расстояния до оси тоннеля (в плане)

Предполагается, что требуется выполнение санитарных норм на расстоянии 10 м от оси тоннеля. На рисунке 3.1 приведены соответствующие расчетные значения ожидаемой вибрации (67,3 и 70,2 дБ на 10 м от оси тоннеля). Таким образом, требуется снижение уровней возбуждаемой вибрации в диапазонах 31,5 и 63 Гц соответственно на 10,2 и 13,2 дБ. Для предварительного подбора типа виброизолирующей конструкции верхнего строения необходимо обратиться к таблице Ж.1 настоящего Свода правил. Требуемую эффективность обеспечивают конструкции верхнего строения пути типа амортизаторов или упругого мата под балластным корытом или амортизаторов под лежневыми блоками. Упругие характеристики соответствующих конструкций подбираются с использованием рисунков 5.4-5.11. Для конкретных значений параметров грунта имеем следующие величины требуемых коэффициентов упругости: для упругих элементов, расположенных под балластным корытом, $k = 2{,}8 \cdot 10^8$ Н/м и под лежневыми блоками - $k = 1{,}0 \cdot 10^8$ Н/м в расчете на длину вагона.

Далее проверяется требование удовлетворения условий на статическую просадку системы под нагрузкой подвижного состава. Для этого используется рисунок 5.12. Имеем для жесткости $k = 2{,}8 \cdot 10^8$ Н/м просадку $s < 3$ мм и для $k = 1{,}0 \cdot 10^8$ Н/м $s = 5$ мм, что в обоих случаях удовлетворяет техническим требованиям ($s < 6$ мм) [4].

В заключение проверяются прогнозируемые уровни виброскорости (с учетом вибропонижающего мероприятия) на соответствие санитарным нормам. В рассматриваемом случае имеем для 31,5 Гц величину $L = 61{,}3 - 10{,}2 = 51{,}1$ дБ (оба варианта конструкций) и для 63 Гц $L = 58{,}1 - 25 = 33{,}1$ дБ - амортизаторы под балластным корытом и $L = 58{,}1 - 23 = 35{,}1$ дБ - под лежневыми блоками. Во всех случаях санитарные нормы, приводимые в таблице 3.1, будут выполняться.

Выбор конкретного конструктивного решения (сплошные упругие маты или набор амортизаторов) под балластным корытом или лежневыми блоками осуществляется из имеющихся технических или/и экономических возможностей.

Примечание - В случае если ни одно из приведенных решений не обеспечивает требуемой виброизоляции, применяются дополнительные мероприятия, приведенные в разделе 5.3 (таблицы 5.1 и 5.2) настоящего Свода правил, а также мероприятия, реализуемые в грунте между источником (тоннелем метрополитена) и нормируемой точкой на поверхности грунта, приводимые в разделе 3.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 24346-80 (СТ СЭВ 1926-79). Вибрация. Термины и определения.

2. ГОСТ 12.1.012-2004. Вибрационная безопасность. Общие требования.

3. ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003) Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах

4. ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2 Вибрация внутри зданий.

5. ГОСТ ИСО 8041-2006. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. Vibration. Human response to vibration. Measuring instrumentation.

6. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.

7. ГОСТ 17770-86. Машины ручные. Требования к вибрационным характеристикам.

8. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001). Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека.

9. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека.

10. ГОСТ 26568-85. Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация.

11. ГОСТ 28362-89 (ИСО 2017-82). Вибрация и удар. Виброизолирующие устройства.

12. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.

13. ГОСТ 12.4.024-76 Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования

14. ГОСТ 12.4.002-97. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний.

15. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Физические факторы производственной среды. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

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

17. МУ 3911-85. Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценки производственных вибраций.

18. РД 50-644-87. Методические указания. Вибрация. Комплекс нормативно-технической и методической документации. Основные положения.

19. СП 23-105-2004. Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена.

20. Волков А.В., Калашникова Н.К., Курнавин С.А., Веретина И.А. Виброзащита зданий, расположенных вблизи линий метрополитена. – Режим доступа: http://www.mukhin.ru /stroysovet/funds/35.html.

21. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование защиты от шума и вибрации инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях.

22. Медников Н.В., Медников М.В., Пономарев Ю.К., Паровай Ф.В., Волкова Т.В., Котов А.С., Давыдов Д.П. *(СГАУ, г. Самара, РФ)* Проектирование комбинированных средств виброзащиты на основе материала мр и тросов. – Режим доступа: http://science-bsea.bgita.ru/2006/stroy_2006/ mednikov_ proektirovanie.htm.

23. Чегодаев Д.Е., Пономарев Ю.К.. Демпфирование. – Самара: изд-во СГАУ, 1997, – 334 с.

24. Современные методы и средства, инженерные решения снижения уровней вибрации. Определение эффективности таких решений. – Режим доступа: http://ot-6.narod2.ru/35.htm.

25. Дашевский М.А., Моторин В.В., Мамажанов М.А. Виброзащита крупнопанельных зданий. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века №10/2004. – Режим доступа: http://www. stroinauka.ru/d26dr3035m0.html.

26. Эластомерные вибродемпфирующие пластины ВЭП. – Режим доступа: http://rti-rus.ru/acousto?_openstat=ZGlyZWN0Lnlhbm rlec5ydtsynjy0mzq7ntmxmtc4mdt5yw5kzxgucnu6chjlbwl1bq.

27. Оборудование фирмы ГЕРБ. – Режим доступа: http://www.gerb-vibra.spb.ru/vibro.html.

28. Буряк Ю.В., Миткевич Н.А., Пилипенко Т.А. Стабилизация динамических режимов резонансных асимметричных виброплощадок. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com /11_EISN_2008/Tecnic /29748. doc.htm.

29. Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве. Учебное пособие. Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 02.06.2011 – с.44.

30. Защита от вибрации. – Режим доступа: ttp://edu.dvgups. ru/METDOC /ENF/BGD/BGD/ MU/UP_ZAD/MAMOT/1/3.htm.

31. Инженерные решения по охране труда в строительстве: Справочник строителя / Под ред. Г.Г. Орлова. – М.: Стройиздат,1985.

32. Пчелинцев, В.А. Охрана труда в строительстве / В.А. Пчелинцев, Д.В. Коптев, Д.Д. Орлов и др. – М.: Высшая школа, 1991.

33. Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1972.

34. Исследование производственной вибрации и методов борьбы с ней. Методические указания к выполнению лабораторной работы/Каз.инж.-строит.ин-т; сост.Г.А.Имайкин, В.И.Корчагина, С.Г.Кашина. Казань, КИСИ, 1994.

35. Смирнов А.Ю., Контарь В.С. Рекомендации по виброизоляции инженерного оборудования. – Режим доступа: http://acoustic.ua/ recommendations/177

36. Смирнов А.Ю. Защита зданий от вибрации. – Режим доступа: http://www. soundmoderaor.org/viewtopic.php?f=26&t=733&sid=077 c800fc6fc9dfc43586430c68022ac.

37. Безопасность жизнедеятельности. Учебник под редакцией проф. Э. А. Арустамова. – Режим доступа: http://ohrana-bgd.narod. ru/bgdps9.html

38.Вибрация благотворная и вибрация вредная. – Режим доступа: http://teachpro. ru/EOR/School%5COBJSupplies8/Html/der08171.htm