ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 52892— 2007

Вибрация и удар

ВИБРАЦИЯ ЗДАНИЙ

Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию

Издание официальное

БЗ 10—2007/345

Москва
Стандартинформ
2008

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация и удар»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 586-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2008

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Повреждения конструкции здания 2
5 Принципы оценивания воздействия вибрации на конструкцию 2
6 Измеряемые величины 4
7 Средства измерений и анализа 5
8 Измерения 6
9 Оценка результатов измерений 8
10 Протокол измерений 9
Приложение А (рекомендуемое) Оценка механических напряжений в конструкции по пиковым значениям скорости 10
Приложение Б (справочное) Оценка вибрации зданий 11

Введение

В процессе эксплуатации здания подвергаются воздействию вибрации как естественной (связанной с такими явлениями, как ветер или землетрясение), так и техногенной (вызванной деятельностью человека, например строительными работами, движением транспорта) природы. Вибрация может стать причиной повреждения конструкции здания, снизив ее эксплуатационную надежность: уменьшить устойчивость, ухудшить несущую способность перекрытий. Признаками снижения эксплуатационной надежности является появление трещин, оторванных от несущего каркаса элементов и т.п. Поэтому вибрацию сооружений следует постоянно или периодически контролировать, чтобы определить, насколько действующие вибрационные нагрузки опасны как для конструкции в целом, так и для ее частей.

Вибрации естественной и техногенной природы различаются по своему характеру. Как правило, вибрация от естественных источников сосредоточена в области более низких частот, характеризуется высокой мощностью в источнике и распространяется на более далекие расстояния. Такая вибрация может вызвать значительные повреждения зданий, поэтому в местах постоянного или ожидаемого действия источников вибрации естественного происхождения (например, в сейсмоопасных районах) к конструкции зданий предъявляют специальные требования. Настоящий стандарт распространяется на вибрацию техногенной природы зданий, при проектировании и строительстве которых не были установлены специальные требования устойчивости к динамическим нагрузкам.

Исследование воздействия вибрации на конструкцию здания проводят в том случае, если есть основания предполагать, что это воздействие может привести к повреждению конструкции. Такое исследование представляет собой многоэтапный процесс, начинающийся на стадии проектирования новых зданий в условиях действия существующих источников вибрации или новых систем, которые являются источниками вибрации и могут оказывать существенное воздействие на возведенные здания. На разных этапах проектирования разрабатывают и уточняют расчетные модели, в которых учитывают динамические свойства источника вибрации, пути ее распространения и особенности конструкции здания. Выходом модели является отклик в разных точках конструкции. Измерения вибрации, рассматриваемые в настоящем стандарте, могут использоваться для оценки корректности построенной модели.

В настоящее время не имеется достаточных данных для установления соответствия между степенью жесткости вибрации и вызываемыми ею повреждениями. Ориентировочные предельные значения вибрации установлены в ряде национальных стандартов и других нормативных документах зарубежных стран. В приложении Б настоящего стандарта приведены критерии оценки вибрации, наиболее часто используемые в международной практике. Данные оценки не охватывают все многообразие сооружений и видов воздействий вибрации и поэтому могут быть применены только после предварительного анализа каждой конкретной ситуации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация и удар

ВИБРАЦИЯ ЗДАНИЙ

Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию

Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its effects on structure

Дата введения — 2008—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы измерения вибрации и оценки ее воздействия на конструкцию зданий, рассчитанных на статические нагрузки без предъявления специальных требований в отношении устойчивости к воздействию динамических сил. Оценка воздействия базируется на риске появления повреждений конструкции, способных снизить ее эксплуатационную надежность.

Настоящий стандарт распространяется на здания, подвергающиеся воздействию передаваемой через грунт (в виде сейсмических волн) вибрации техногенной природы (например, в ходе проведения строительных работ, разработки полезных ископаемых, при движении транспорта). Воздействия вибрации естественной природы (в результате землетрясений или сильных ветров), а также создаваемой звуковыми волнами, машинами, работающими внутри здания, и деятельностью людей внутри здания в настоящем стандарте не рассматриваются.

Настоящий стандарт распространяется на измерения вибрации, которые проводят для проверки соответствия установленным требованиям по допустимым уровням вибрации конструкции здания или для подтверждения корректности использованной при проектировании здания модели передачи вибрации от источника.

Рекомендации настоящего стандарта допускается использовать также для других наземных сооружений, исключая сооружения, имеющие специальную конструкцию, такие как ядерные реакторы, сооружения для топливно-энергетических, металлургических, химических и нефтехимических производств, а также для хранения жидких или гранулированных материалов, например водонапорные башни и цистерны, нефтехранилища, бункеры для хранения зерна и других продуктов.

В стандарте приведены критерии оценки вибрации, построенные по результатам наблюдений и экспериментальных исследований, проведенных в ряде зарубежных стран (Великобритании, Германии, Норвегии, США). Предполагается, что при соблюдении рекомендаций по предельным значениям вибрации риск повреждений конструкции здания будет незначительным. Выбор того или иного критерия должен быть согласован между заинтересованными сторонами.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ ИСО 5348—2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 24346, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **источник вибрации**: Любое твердое, жидкое или газообразное тело, вызывающее распространение вибрации в окружающей среде.

3.2 **рабочий цикл**: Повторяющаяся процедура, целью которой является производство продукции или выполнение рабочей операции.

3.3 **период измерений**: Интервал времени, в течение которого осуществляют непрерывный сбор данных о вибрации здания.

3.4 **период наблюдения:** Интервал времени, в течение которого осуществляют одно или несколько измерений для получения репрезентативной информации об источнике вибрации.

3.5 **период контроля**: Интервал времени, установленный в соответствии с требованиями законодательства, в нормативных документах, контрактах и др., для проведения оценки вибрации зданий, вызванной действием конкретного источника.

4 Повреждения конструкции здания

4.1 Степени повреждений

В настоящем стандарте используется классификация повреждений, принятая в сейсмологии. Повреждения зданий разделяют на:

- легкие (косметические): тонкие трещины в штукатурке и откалывание небольших кусков штукатурки, появление тонких трещин в растворе, связывающем кирпичную кладку или бетонные блоки;
- умеренные: небольшие трещины в стенах, проходящие через кирпичную кладку или бетонные панели, откалывание довольно больших кусков штукатурки;
- тяжелые: большие глубокие и сквозные трещины в стенах, трещины в каркасе здания.

4.2 Связь повреждений конструкции здания с вибрацией

Сразу после завершения строительства здания элементы его конструкции испытывают дополнительные механические напряжения, связанные с воздействиями разного вида. Изменения температуры, влажность, осадка грунта, деятельность людей и работа оборудования внутри здания, ползучесть материала, химические вещества и др. являются факторами дополнительной нагрузки на конструкцию, текущее состояние которой зависит от всей предыстории действовавших в этой конструкции механических напряжений. Время начала образования трещин в несущих элементах конструкции здания и скорость их развития зависят от способности материала сооружения сопротивляться воздействию физических и химических нагрузок.

Таким образом, даже в отсутствие существенных внешних нагрузок, к числу которых относится передаваемая через грунт вибрация, для каждого здания характерна своя скорость развития повреждений конструкции, обусловленная процессами естественного старения. Поэтому, хотя вибрация способна значительно ускорить естественный рост трещин, связать повреждения конструкции с воздействием вибрации можно только в том случае, если обследование этой конструкции было проведено непосредственно до и сразу после воздействия. При этом следует принимать во внимание только существенные изменения длины и раскрытия трещин, поскольку незначительные изменения могут быть обусловлены воздействием факторов естественной природы (например, сменой дня и ночи).

5 Принципы оценивания воздействия вибрации на конструкцию

5.1 Механизмы воздействия вибрации

5.1.1 Прямое воздействие на конструкцию

Вибрация оказывает на конструкцию здания механические воздействия, вызывая тем самым изменение ее состояния. Напряжение в каждой точке конструкции напрямую связано с деформациями, возникающими в этой точке, поэтому может быть выражено через параметры вибрации. При этом пиковые значения напряжения связаны с пиковыми значениями скорости. Теоретически по результатам измерений вибрации можно определить механическое напряжение и сравнить его с допустимыми значениями для данного элемента конструкции в зависимости от вида и продолжительности воздействия динамической нагрузки, свойств строительного материала и типа конструкции.

На состояние конструкции помимо пиковых напряжений влияют также накопленные усталостные изменения материала, которые невозможно определить по результатам измерений вибрации. Обычно усталостными эффектами пренебрегают, если динамическое напряжение менее 10 % допустимого статического напряжения. Однако в некоторых случаях для оценки влияния динамических нагрузок (вибрации) может потребоваться измерение механических напряжений.

5.1.2 Влияние на состояние грунта в основании здания

Помимо изменений состояния самой конструкции вибрация вызывает изменения свойств грунта, на котором установлено здание. Одним из таких изменений является локальное уплотнение грунта, которое может привести к повреждению конструкции из-за неравномерной осадки под фундаментом здания. Если вибрация носит долговременный характер, то уплотнение грунта может произойти даже на большом расстоянии от источника вибрации, когда уровень вибрации мал и не способен оказать существенного прямого воздействия на конструкцию здания.

Еще более опасным явлением является разжижение грунта и потеря им несущей способности под воздействием вибрации. Особенно это относится к слабосвязанным водонасыщенным почвам.

Указанные явления являются косвенными эффектами воздействия вибрации на конструкцию здания, которые, как правило, нельзя определить по результатам измерений колебаний конструкции. Поэтому для проведения комплексной оценки воздействия вибрации рекомендуется привлекать специалистов-геотехников, особенно в тех случаях, если здания расположены на слабых грунтах.

5.2 Характеристики вибрации

5.2.1 Длительность возбуждения

Важной характеристикой источника вибрации является длительность создаваемого возбуждения. Кратковременные импульсы или последовательность таких импульсов, если они повторяются нерегулярно или с низкой частотой повторения, при которой отклик успевает затухнуть до прихода следующего импульса, не способны эффективно раскачать конструкцию здания на ее резонансных частотах.

Примечание — Обычно частота собственных колебаний небольших сооружений высотой до 12 м находится в диапазоне от 4 до 15 Гц, а частота собственных колебаний элементов конструкции, таких как стены и перекрытия, — в диапазоне от 10 до 30 Гц и выше.

Но если здание в течение длительного времени подвергается воздействию непрерывной вибрации, то в отдельных точках конструкции максимальные значения колебания могут в 2,5 — 10 раз превышать значения колебаний грунта в месте его контакта с фундаментом здания. В соответствии с этим вибрацию классифицируют по длительности воздействия. Вибрацию считают кратковременной, если время действия источника недостаточно для накопления существенных усталостных повреждений конструкции, а также для того, чтобы раскачать конструкцию в резонансном режиме. Все остальные источники создают долговременную вибрацию.

5.2.2 Диапазон частот и уровень вибрации

Диапазон частот вибрации в разных точках здания зависит от источника возбуждения, свойств грунта, через который воздействие передается на конструкцию, и передаточных характеристик конструкции. При некоторых сочетаниях указанных факторов (например, при взрывах твердой породы, проводимых на небольшом расстоянии от здания, или при работе высокоскоростных машин) верхняя граница диапазона частот может достигать 1000 Гц. Однако в большинстве случаев при оценке риска повреждения конструкции здания вследствие воздействия на него вибрации техногенной природы достаточно проводить анализ в диапазоне частот от 1 до 150 Гц.

Уровни вибрации могут колебаться от единиц до нескольких сотен миллиметров в секунду в зависимости от частоты возбуждения.

Характеристики вибрации, измеряемой на конструкции здания, для разных источников возбуждения техногенной природы приведены в таблице 1[1)].

Таблица 1 — Типичный диапазон параметров вибрации зданий для некоторых источников возбуждения

Источник возбуждения	Диапазон частот, Гц	Диапазон перемещений, мкм	Диапазон скоростей, мм/с	Диапазон ускорений, м/с^2	Длительность
Движение дорожного (рельсового) транспорта	1 — 80	1 — 200	0,2 — 50	0,02 — 1	Д/К
Взрывы	1 — 300	100 — 2500	0,2 — 500	0,02 — 50	К
Забивка свай	1 — 100	10 — 50	0,2 — 50	0,02 — 2	К
Работа машин вне здания	1 — 300	10 — 1000	0,2 — 50	0,02 — 1	Д/К
Примечание — В таблице применены следующие обозначения: Д — долговременный процесс; К — кратковременный процесс.					

[1)] Данные таблицы 1 взяты из ИСО 4866:1990 «Mechanical vibration and shock — Vibration of buildings — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings» («Вибрация и удар. Вибрация зданий. Руководство по измерению вибрации и оценке ее воздействия на здание»).

5.3 Факторы, влияющие на риск повреждения конструкции

5.3.1 Общие положения

Отклик конструкции здания на передаваемую через грунт вибрацию зависит от типа фундамента, типа и состояния грунта в основании здания, особенностей и состояния конструкции здания и расстояния, на котором находится источник вибрации.

5.3.2 Тип фундамента и состояние грунта

Тип фундамента и состояние грунта определяют динамику системы на границе двух сред (грунт — фундамент здания). Так деформации фундамента, вызываемые сейсмическими волнами, прямо пропорциональны пиковому значению скорости в точке фундамента, но обратно пропорциональны скорости распространения этих волн в толще грунта. Поскольку скорость распространения сейсмических волн возрастает при увеличении жесткости грунта, то одним и тем же деформациям (потенциальным источникам появления трещин) будут соответствовать тем большие пиковые значения скорости, чем выше жесткость грунта. Таким образом, если конструкция фундамента обеспечивает высокую корреляцию между вибрацией фундамента и грунта, то для зданий, возведенных, например, на скальной породе, допустима вибрация фундамента с большими значениями скорости.

Геологический состав грунта влияет на изменение частотного состава вибрации, передаваемой от источника. Кроме того, от динамического взаимодействия грунта с фундаментом зависят значения собственных частот колебаний конструкции здания. В общем случае, чем выше жесткость фундамента и чем больше плотность грунта, тем выше значения собственных частот системы «грунт — фундамент здания».

5.3.3 Особенности конструкции

Реакция конструкции здания и ее элементов на передаваемую вибрацию зависит от передаточных свойств конструкции. Оценка воздействия вибрации, распространяющейся от одного и того же источника, будет разной в зависимости от конструкции здания. У старых кирпичных зданий высотой в один или несколько этажей собственные частоты колебаний, как правило, ниже, чем у современных высотных сооружений.

Собственные частоты колебаний элементов конструкции здания (панелей, балок) обычно выше, чем у конструкции в целом. Механические напряжения в балках и пластинах, возникающие при их колебаниях на частоте, близкой к резонансной, могут быть рассчитаны по результатам измерений вибрации в точках, где значение скорости наибольшее (см. приложение А). Однако даже значительные колебания посередине балок и панелей редко приводят к повреждению конструкции здания. Так, для современных строительных материалов механические напряжения, соответствующие пиковому значению скорости 10 мм/с, когда вибрация становится явственно ощутимой, обычно находятся в диапазоне от 0,4 % до 2,3 % допустимого значения.

5.3.4 Расстояние до источника

При оценке воздействия вибрации измерения проводят в ограниченном числе точек конструкции (см. 8.1). Эти измерения могут полно характеризовать вибрационную энергию, передаваемую зданию сейсмическими волнами, только в том случае, если здание находится в дальнем поле источника. Если здание находится в ближнем поле, то при том же максимальном значении вибрации по фундаменту здания вибрационная энергия, передаваемая конструкции (и, как следствие, риск ее повреждения), будет меньше.

Другим важным моментом, который следует учитывать при рассмотрении зависимости от расстояния, является преобразование сейсмических волн из одного вида в другой. Чем больше расстояние от источника вибрации до здания, тем большая часть вибрационной энергии передается зданию поверхностными (релеевскими) волнами и тем меньше влияют на него волны сжатия и сдвига.

Кроме того, при увеличении расстояния происходит перераспределение энергии в область низких частот. Частота доминирующей составляющей (см. 6.3) уменьшается. Поэтому, как правило, при одинаковых результатах измерений вибрации на фундаменте здания чем больше расстояние от источника, тем выше риск повреждения конструкции (см. раздел 9).

6 Измеряемые величины

6.1 Общие положения

Многочисленные исследования показали, что параметром вибрации, в наибольшей степени коррелированным с риском повреждения конструкции здания, является пиковое значение скорости. Данный параметр характеризует энергию сейсмических волн, воздействующих на конструкцию. Однако помимо этого существует еще ряд факторов (см. 5.3), от которых зависит риск повреждения конструкции при данном пиковом значении скорости. Многие из этих факторов в той или иной степени связаны с час-

тотным составом вибрации. Поэтому в большинстве известных критериев оценки вибрации используют дополнительный показатель — частоту доминирующей составляющей спектра сигнала.

6.2 Пиковое значение скорости

Основным параметром, используемым для оценки вибрации зданий, является пиковое значение скорости, измеряемое в направлении трех взаимно перпендикулярных осей x, y и z — $v_{peak,\ x}$, $v_{peak,\ y}$ и $v_{peak,\ z}$ соответственно. Ось z направлена вертикально вверх. Направления горизонтальных осей x и y зависят от точки измерений и определяются особенностями геометрии конструкции в данной точке. Например, при установке датчика вибрации на вертикальной поверхности блока фундамента одну из горизонтальных осей выбирают в направлении нормали к данной поверхности, а при установке датчиков внутри здания направления измерений выбирают, по возможности, вдоль несущих элементов конструкции. Другой способ — направить одну из горизонтальных осей в сторону источника вибрации.

Для оценки вибрации определяют $v_{peak,\ max}$ — наибольшее из пиковых значений, полученных для каждого направления измерений:

$$v_{peak,\ max} = \max \{v_{peak,\ x}, v_{peak,\ y}, v_{peak,\ z}\}.$$

В зависимости от типа используемого датчика вибрации измеряемой величиной, помимо скорости, может быть ускорение с последующим выполнением операции интегрирования.

Примечание — Поскольку пиковое значение сигнала чувствительно к фазовой характеристике измерительной цепи, следует убедиться, что инструментальная реализация процедуры интегрирования не вносит существенных фазовых искажений в сигнал скорости.

6.3 Частота доминирующей составляющей

Частоту доминирующей составляющей определяют следующим образом. На графике зависимости сигнала скорости от времени выделяют область подъема вибрации, где скорость имеет максимальное значение (если сигнал вибрации не имеет ярко выраженного импульсного характера, т.е. на всем периоде измерений уровень вибрации изменяется незначительно, то весь период измерений рассматривают как одну область). Применяя преобразование Фурье, определяют частотный состав вибрации для сигнала в выделенной области и находят доминирующие частотные составляющие этого сигнала (одну или несколько). Полученные значения частот доминирующих составляющих используют при оценке степени жесткости вибрации.

7 Средства измерений и анализа

7.1 Средства измерения пикового значения

Измерительная система должна обеспечивать измерение пикового значения скорости в диапазоне частот не менее чем от 1 до 250 Гц и в диапазоне измеряемых значений не менее чем от 1 до 500 мм/с, а также обеспечивать регистрацию времени наблюдения пикового значения.

Типичная измерительная система состоит из датчиков вибрации, устройств согласования сигнала, устройств хранения данных, полосового фильтра с плосковершинной частотной характеристикой в заданном диапазоне частот измерений и показывающих устройств. Если для дальнейшего анализа сигнала (во временной и частотной областях) используют устройства записи, эти устройства также входят в состав измерительной цепи.

Расширенная неопределенность измерений пикового значения сигнала при коэффициенте охвата, равном двум, обусловленная отклонением амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик измерительного тракта, разрешением системы по времени, нелинейностью системы в заданном динамическом диапазоне измерений, собственными помехами в измерительной цепи и взаимным влиянием каналов при работе в нормальных условиях окружающей среды, не должна превышать 20 %.

7.2 Датчики вибрации

Для измерений вибрации зданий обычно применяют акселерометры или датчики скорости (геофоны). При использовании акселерометров в состав измерительной цепи должно входить устройство интегрирования для получения сигнала скорости. Поскольку такая характеристика, как пиковое значение скорости, чувствительна к фазовым соотношениям в сигнале, особое внимание необходимо обращать на точность реализации фазово-частотной характеристики измерительной цепи, включающей акселерометр и устройство интегрирования.

При применении геофонов следует учитывать, что собственная частота колебаний таких датчиков находится в диапазоне от 6,5 до 9,5 Гц, т.е. попадает в диапазон измерений вибрации. После установки геофона, например, в грунт, собственная частота его колебаний изменяется, но по-прежнему может оставаться в пределах диапазона частот измерений. Поэтому необходимо, чтобы в измерительную цепь

входило устройство компенсации (обычно программное) неравномерности частотной характеристики в диапазоне частот измерений.

7.3 Средства анализа частотного состава сигнала

Обычно для анализа сигнала с целью определения частот доминирующих составляющих используют его цифровую запись за период измерений. Устройство анализа должно обеспечивать отображение всего временного сигнала за период измерений для определения характера вибрации.

Если вибрация носит ярко выраженный импульсный характер, то из сигнала «вырезают» импульс, где сигнал скорости имеет максимальное значение, и дальнейшему анализу подвергают «вырезанный» участок реализации.

Если в начале и в конце анализируемой записи на интервале $[t, t + T]$ значение сигнала не близко к нулю, то перед проведением анализа в частотной области его умножают на окно Хана $h_W(\tau)$:

$$h_W(\tau) = \frac{1-\cos[2\pi(\tau - t)/T]}{2}; \quad t \le \tau \le t + T.$$

Для анализа частотного состава сигнала скорости используют анализатор, реализующий преобразование Фурье (например, процедуру быстрого преобразования Фурье).

Примечания

1 Окно Хана лучше других обычно используемых на практике временных окон сохраняет соотношение между частотными составляющими сигнала, что особенно важно при определении доминирующих составляющих.

2 Для определения частоты доминирующей составляющей на практике часто используют метод анализа во временной области: определяют максимальный пик сигнала и ближайшие моменты времени пересечения сигналом скорости нулевого уровня по обе стороны от этого пика. На основе полученного временного интервала Δt определяют частоту детерминированной составляющей как величину, обратно пропорциональную 2 Δt. С помощью данного метода, как правило, получают завышенные значения частоты доминирующей составляющей по сравнению с методом преобразования Фурье, поэтому его не рекомендуется применять даже для сигналов простой формы.

8 Измерения

8.1 Точки измерений

Существует два основных подхода к выбору места измерений вибрации при оценке ее воздействия на здание: европейский и американский. В США измеряют вибрацию грунта вблизи фундамента здания, а в Европе измерения проводят на самом фундаменте. Это различие имеет исторический, а не принципиальный характер. Для оценки воздействия вибрации на конструкцию здания предпочтительно выбирать точки измерения вибрации непосредственно на конструкции.

Если провести измерения на фундаменте здания невозможно, то точки измерения должны находиться на нижней части (на высоте не более 1 м от уровня грунта) внешней несущей стены здания. Рекомендуется, чтобы точки измерения находились на той стороне конструкции, которая обращена к источнику вибрации.

Колебания, вызванные движением транспорта или строительными работами (взрывами, забивкой свай), могут усиливаться при их распространении вверх по конструкции здания. Поэтому рекомендуется проводить дополнительные измерения на верхнем перекрытии здания. Для высоких зданий (выше 12 м) рекомендуется проводить дополнительные измерения с помощью датчиков, устанавливаемых в ряд по вертикали через каждые 12 м, чтобы обеспечить возможность наблюдения за характером изменения вибрации. Вибрацию измеряют на несущих элементах, определяющих жесткость конструкции, обычно вблизи ее углов.

Для протяженных зданий (длиной более 10 м) рекомендуется на каждой стене на одной высоте установить несколько датчиков вибрации, по крайней мере, вблизи углов и посередине стены.

Примечание — Вибрация междуэтажных перекрытий и перегородок может быть значительно выше вибрации несущих элементов, однако она обычно не связана с риском повреждения конструкции здания.

8.2 Установка датчиков вибрации

8.2.1 Установка на конструкцию здания

При использовании в качестве датчиков вибрации акселерометров они должны быть установлены в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 5348.

Крепление датчика должно быть жестким, не допускающим угловых колебаний, поэтому следует избегать установки датчиков на кронштейны и другие вспомогательные приспособления. Если необходимо использовать три датчика для измерений вибрации в трех взаимно перпендикулярных направле-

ниях, применяют стальной куб, который закрепляют на конструкции с помощью шпильки или быстроотвердевающей смолы.

Установочный резонанс акселерометра должен находиться на частоте выше 1000 Гц, чтобы не оказывать влияния на результаты измерений.

Отклонение оси чувствительности датчика от заданного направления измерений не должно быть более 5°.

8.2.2 Установка на грунт

Если позволяет тип грунта, датчик можно закрепить на жестком стальном стержне (диаметром не менее 10 мм), вбитом в поверхностный слой грунта. Стержень не должен выступать над поверхностью земли более чем на несколько миллиметров. Особое внимание следует уделить обеспечению плотного контакта между датчиком и грунтом. В случаях, когда предполагаемое значение ускорения может превышать 2 м/с^2, стержень для сохранения своего положения внутри грунта должен опираться на жесткую площадку.

Если датчик устанавливают непосредственно внутри грунта для уменьшения искажений, вызываемых установочными приспособлениями, то глубина его установки должна, по крайней мере, в три раза превышать характерный размер датчика. Допускается устанавливать датчик на жесткую пластину, соответствующую условию

$$m / \rho r^3 \leq 2,$$

где m — масса датчика вместе с пластиной;

r — эквивалентный радиус пластины;

ρ — плотность грунта.

Такой пластиной может быть, например, плита дорожного покрытия. Для большинства почв значение ρ находится в пределах 1500 — 2600 кг/м^3.

При высокой твердости грунта (например, скальной породы), не позволяющей использовать вышеуказанные методы, датчик устанавливают непосредственно на поверхность грунта с соблюдением требований 8.2.1.

8.3 Продолжительность измерений

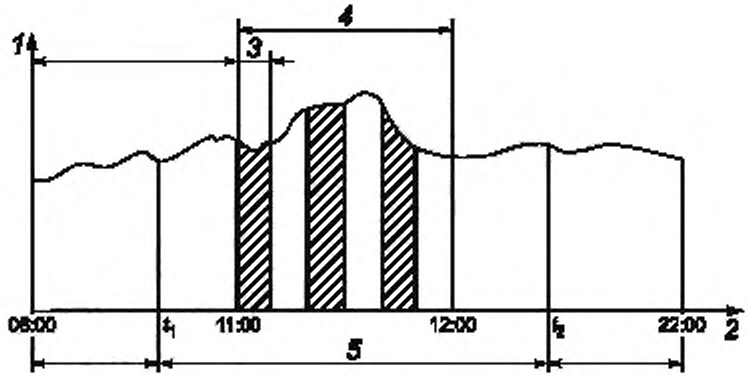
Продолжительность измерений зависит от категории источника вибрации. Периоды контроля, наблюдения и измерений должны быть определены согласно таблице 2.

Таблица 2 — Продолжительность измерений

Категория источника	Период контроля	Период наблюдения	Период измерений
Постоянное воздействие	День/неделя/период работы источника	Два периода между пиковыми значениями	Один рабочий цикл[1)]
Периодическое воздействие	День	Три рабочих цикла и более	Один рабочий цикл[1)]
Единичные воздействия	День	Три единичных воздействия	Каждое воздействие[1)]

[1)] Измерения проводят не менее трех раз. Измеренные на каждом периоде пиковые значения не должны отличаться от среднего значения более чем на 10 %. Если это условие не выполняется, дополнительно проводят еще три измерения.

Пример — Для такого источника периодического воздействия, как копер, период контроля равен одному рабочему дню, а период наблюдения должен включать в себя не менее трех рабочих циклов (см. рисунок 1). Рабочим циклом в данном случае считают полную забивку сваи.



1 — уровень вибрации; 2 — время (в часах); 3 — период измерений; 4 — период наблюдений; 5 — период контроля

Рисунок 1 — Продолжительность измерений

8.4 Контроль правильности проведения измерений

Контроль правильности проведения измерений осуществляют путем периодических проверок работоспособности измерительной системы на месте ее установки и наблюдением за фоновым шумом.

При проверках на месте установки определяют передаточные характеристики всей измерительной цепи — обычно методом сравнения.

Под фоновым шумом понимают показания средства измерений в отсутствие исследуемой вибрации. Если уровень измеряемой вибрации превышает фоновый шум менее чем на 5 дБ, оценка воздействия вибрации на конструкцию здания может быть осуществлена только после соответствующей коррекции результатов измерений.

9 Оценка результатов измерений

9.1 Общие положения

Измерения вибрации зданий проводят с целью сравнения полученных результатов с заданными предельными значениями (критериями оценки). Основой всех известных и широко применяемых на практике критериев является риск легких (косметических) повреждений конструкции.

Поскольку риск повреждения конструкции зависит не только от пиковых значений вибрации, измеренных в заданных точках, но и от других факторов (см. 5.3), критерии оценки вибрации, по сути, представляют собой коррекцию результатов измерений в соответствии с этими факторами. При этом существующие критерии могут быть разделены по способу коррекции на два вида: частотно-зависимые и комплексные.

В приложении Б рассмотрены критерии оценки, наиболее широко применяемые в международной практике.

Примечание — Независимо от применяемого критерия, все они построены по результатам статистической обработки данных исследований и базируются на предположении, что при превышении указанных предельных значений риск повреждения конструкции будет не более 5 %. Однако в действительности лишь небольшая часть проанализированных данных относилась к ситуациям, где произошло повреждение конструкции. Поэтому приводимые предельные значения можно рассматривать как консервативные.

9.2 Частотно-зависимые критерии оценки

Для частотно-зависимых критериев влияние большинства факторов выражается в виде зависимости предельного пикового значения скорости от частоты доминирующей составляющей. При этом тип конструкции здания (5.3.3) обычно является неучтенным фактором, требующим специального рассмотрения. Для этого строят несколько кривых зависимости предельного пикового значения скорости от частоты доминирующей составляющей — каждую для конкретного типа и состояния конструкции.

Примечание — Частота доминирующей составляющей обычно находится в диапазоне от 5 до 100 Гц, поэтому при построении критерия ограничиваются указанным диапазоном частот.

Поскольку сведение нескольких факторов к одному (частоте доминирующей составляющей) неизбежно приводит к потере информации, установленные предельные значения следует рассматривать как заданные для «наихудших» условий, т.е. в конкретных ситуациях предельное значение может быть увеличено (см. 5.3.2).

9.3 Комплексные критерии оценки

При применении комплексных критериев оценки проводят коррекцию предельного значения по каждому из влияющих факторов, указанных в 5.3.

10 Протокол измерений

Протокол измерений должен содержать следующую информацию:

- наименования организации — заказчика и организации — исполнителя измерений; сведения о договоре, в соответствии с которым были проведены измерения; данные о лице, проводившем измерения; дату и место проведения измерений, погодные условия во время измерений;
- описание источника вибрации (взрывы, забивка свай, работа машин, дорожный трафик и т.д.), указание времени и частоты появления вибрации, ее продолжительности;
- описание сооружения, для которого были проведены измерения (адрес, назначение, тип конструкции с указанием размеров и материалов);
- взаимное расположение источника вибрации и точек измерений с приложением схемы;
- условия окружающей среды (состояние фундамента, геологические условия, уровень подземных вод, погодные условия);
- уровень фоновой вибрации;
- использованные средства измерений и анализа (тип и модель датчика вибрации, способ и характеристики его крепления, устройства согласования сигнала, записи и анализа, метод и средства определения частоты доминирующей составляющей), сведения о поверке средств измерений;
- измеряемые величины;
- результаты измерений в каждой точке измерений;
- оценку результатов измерений (сопоставление с предельными значениями с указанием источника предельных значений).

Приложение А
(рекомендуемое)

Оценка механических напряжений в конструкции по пиковым значениям скорости

Вибрацию таких элементов зданий, как стены и междуэтажные перекрытия, можно оценить по создаваемым ею механическим напряжениям.

Механические напряжения в балках и пластинах, возникающие при их колебаниях на частоте, близкой к резонансной, могут быть рассчитаны по результатам измерений скорости и частоты при условии, что эти измерения выполнены в точках, где значение скорости максимальное. В этом случае знание условий закрепления и жесткости элемента для оценки возникающих в нем напряжений не является обязательным.

Для балок и бетонных плит, армированных в одном направлении, прямоугольного сечения равномерной жесткости, нагруженных некоторой массой, применяют следующее соотношение между максимальным значением изгибного напряжения σ_{max} и максимальным значением скорости v_{max}, которое не зависит от длины, ширины и высоты балки:

$$\sigma_{max} \approx \sqrt{E_{dyn}\rho}\sqrt{3\frac{G_{tot}}{G_{beam}}}k_n v_{max},$$

где v_{max} — максимальное значение скорости по всей длине балки;

E_{dyn} — динамический модуль упругости материала балки;

ρ — плотность материала балки;

$\frac{G_{tot}}{G_{beam}}$ — коэффициент нагрузки при нагружении балки помимо своей собственной массы G_{beam} еще и равномерно распределенной нагрузкой $G_{otherloads}$ ($G_{tot} = G_{beam} + G_{otherloads}$);

k_n — безразмерный модальный коэффициент, имеющий значение в диапазоне от 1 до 1,33 и зависящий от условий закрепления и номера моды колебаний, влияние которых, однако, незначительно.

Для бетонных плит с перекрестной арматурой полученное значение напряжения можно рассматривать как оценку сверху.

Приложение Б
(справочное)

Оценка вибрации зданий

Б.1 Общие положения

В настоящем приложении приведены наиболее часто используемые в международной практике критерии оценки вибрации зданий, установленные национальными стандартами и другими нормативными документами зарубежных стран.

Б.2 Частотно-зависимые критерии оценки

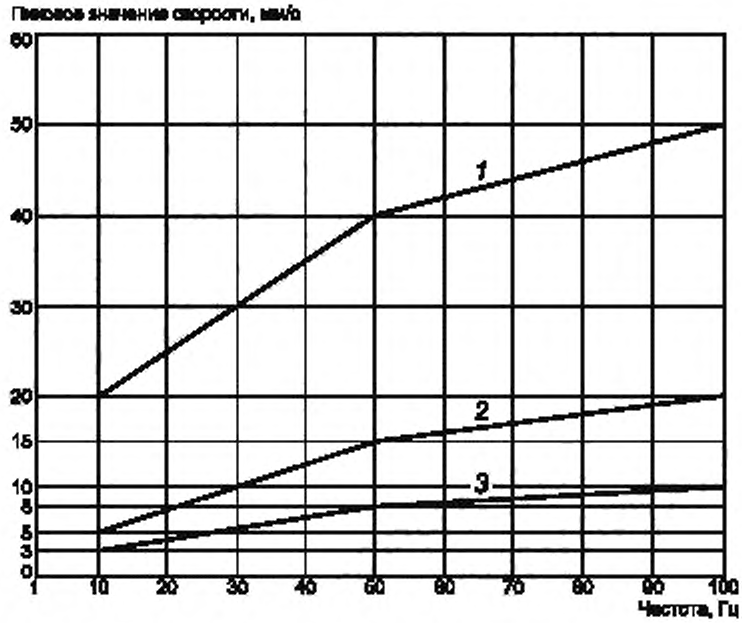
Б.2.1 DIN 4150-3:1999[1)]

Предельные значения (рисунок Б.1) установлены в отношении кратковременной вибрации для пиковых значений скорости на фундаменте здания (см. 6.2) для трех категорий зданий:

- зданий делового назначения, производственных зданий и сооружений, имеющих аналогичную конструкцию (категория 1);
- жилых зданий и зданий, имеющих аналогичную конструкцию или назначение (категория 2);
- сооружений, не относящихся к категориям 1 или 2, имеющие высокую социальную важность (например, охраняемых памятников архитектуры).

Дополнительно предлагается измерять скорость в горизонтальном направлении для верхнего перекрытия здания $v_{high\ floor}$. Предельные значения этой характеристики для кратковременной и продолжительной вибрации приведены в таблице Б.1.

Если предельные значения для перекрытий (стен) превышают указанные в таблице Б.1, рекомендуется оценить механические напряжения согласно приложению А.



1 — здания категории 1, *2* — здания категории 2; *3* — здания категории 3

Рисунок Б.1 — Предельные значения скорости, измеренной на фундаменте здания

[1)] Национальный стандарт Германии DIN 4150-3:1999 «Structural vibration — Part 3: Effects of vibration on structures» (Вибрация сооружений. Часть 3. Воздействие вибрации на сооружения).

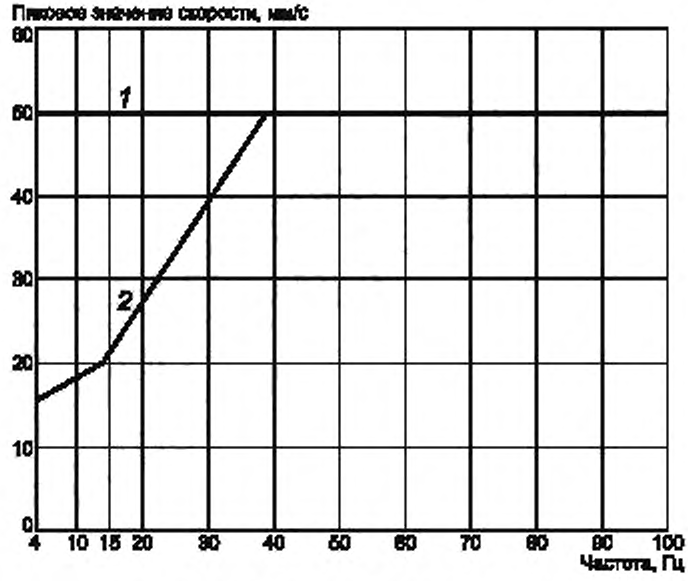
Таблица Б.1 — Рекомендуемые предельные значения $v_{high\ floor}$

Категория сооружения	$v_{high\ floor}$, мм/с	
	Кратковременная вибрация	Продолжительная вибрация
1	40	10
2	15	5
3	8	2,5
Примечание — Приведенные значения могут быть применены также к промежуточным перекрытиям здания, а также к его стенам.		

Б.2.2 BS 7385-2:1993[1)]

Предельные значения (рисунок Б.2) установлены в отношении кратковременной вибрации для пиковых значений скорости на фундаменте здания (см. 6.2) для двух категорий зданий:

- зданий делового назначения и производственных зданий, имеющих каркасные или армированные конструкции (категория 1);
- жилых зданий и зданий делового назначения, имеющих облегченную конструкцию, конструкцию без армирования или с облегченным каркасом (категория 2);



1 — здания категории 1; *2* — здания категории 2

Рисунок Б.2 — Предельные значения скорости, измеренной на фундаменте здания

Предполагают, что умеренные повреждения могут произойти при превышении предельных значений, указанных на рисунке Б.2, в два раза, а тяжелые — в четыре раза.

В случае низкочастотного сигнала, имеющего значительные составляющие на частотах ниже 4 Гц, рекомендуется дополнительно проводить измерения перемещения. Предельное пиковое значение перемещения для частоты доминирующей составляющей ниже 4 Гц равно 0,6 мм.

В случае продолжительной вибрации, способной вызвать резонансы конструкции (особенно на низких частотах), предельные значения, указанные на рисунке Б.2, рекомендуется уменьшить в два раза.

[1)] Национальный стандарт Великобритании BS 7835-2:1993 «Evaluation and measurement for vibration in buildings — Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration» (Измерение и оценка вибрации в зданиях. Часть 2. Руководство по установлению уровней передаваемой через грунт вибрации, приводящей к повреждению зданий).

Б.2.3 Рекомендации OSM[1)]

Предельные значения (рисунок Б.3) установлены для невысоких зданий (одно- или двухэтажных), подвергающихся воздействию сейсмических волн, которые образуются в результате взрывов при разработке открытых месторождений[2)].

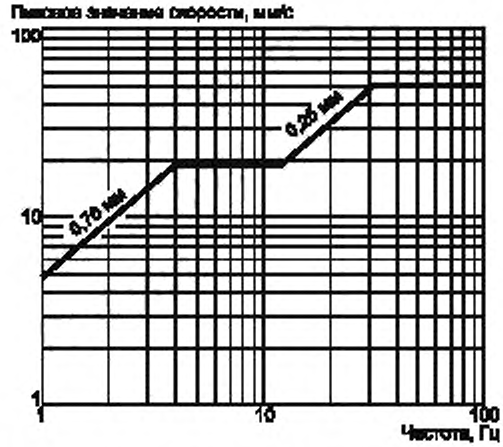


Рисунок Б.3 — Предельные значения для скорости, измеренной в грунте

Б.3 Комплексный критерий оценки

Б.3.1 Общие положения

Комплексный критерий оценки установлен в национальном стандарте Норвегии NS 8141:2001[3)] и распространяется на вибрацию, вызванную земляными работами, сносом сооружений и движением машин.

Если проведение земляных работ может вызвать колебания сооружения на частоте резонанса (например, при использовании вибрационных машин или при установке постоянного и кратковременного интервала между пусками электронной системы зажигания при проведении взрывов в ходе строительных работ), то для оценки допустимости возникающих колебаний необходимы дополнительные исследования.

Б.3.2 Предельное значение вибрации

Предельное значение v при кратковременной вибрации определяют для вертикальной составляющей пикового значения скорости по формуле

$$v = v_0 F_g F_b F_d F_k,$$

где v_0 — опорное значение скорости, равное 20 мм/с;

F_g — поправка на вид грунта в месте, где установлено сооружение;

F_b — поправка на вид сооружения;

F_d — поправка на расстояние между источником вибрации и местом ее измерения;

F_k — поправка на вид источника вибрации.

Б.3.3 Поправка на вид грунта F_g

Поправку на вид грунта на месте возведения сооружения определяют по таблице Б.2.

Б.3.4 Поправка на вид сооружения F_b

Б.3.4.1 Общие положения

Поправка на вид здания F_b зависит от типа и конструкции сооружения, материала, из которого оно возведено, и типа фундамента. Эту поправку рассчитывают по формуле

$$F_b = k_b k_m k_f,$$

где k_b — поправка на тип и конструкцию сооружения;

k_m — поправка на материал конструкции;

k_f — поправка на тип фундамента.

[1)] Office of Surface Mining (Управление открытых горнорудных разработок), США.

[2)] В оригинале Рекомендаций OSM предельные значения установлены в единицах измерений дюйм в секунду (дюйм/с).

[3)] NS 8141:2001 «Vibration and shock — Measurement of vibration velocity and calculation of guideline limit values in order to avoid damage of constructions» (Вибрация и удар. Измерение скорости и расчет предельных значений, рекомендуемых с целью предотвращения повреждения сооружений).

Таблица Б.2 — Поправка на вид грунта F_g

Общая классификация	Вид грунта	F_g
Обычный грунт	Очень мягкий грунт, мягкая глина	0,5[1)]
	Глина, илистый грунт с высоким содержанием влаги	0,8
	Песок, гравий, илистый грунт	1,0
	Твердая валунная глина, уплотненная закладка из щебня	1,8
Скальная порода	Тонкая выровненная стяжка	2,5
	Сланец, мягкий известняк, щелеватая порода (скорость распространения сейсмических волн от 2000 до 4000 м/с)	2,5
	Гранит, гнейс, твердый известняк, кварцит, диабаз (скорость распространения сейсмических волн более 4000 м/с)	3,5
[1)] Коэффициент 0,5 — усредненное значение, требующее уточнения в каждом конкретном случае.		

Б.3.4.2 Поправка на тип и конструкцию сооружения k_b

Поправку на тип и конструкцию сооружения определяют по таблице Б.3.

Таблица Б.3 — Поправка на тип и конструкцию сооружения k_b

Тип конструкции	k_b
Крупное сооружение (мост, эстакада, укрепление)	1,70
Здание делового назначения, производственное здание	1,20
Жилое здание обычной конструкции	1,00
Здание, имеющее повышенную чувствительность к вибрации (высотное сооружение, конструкция с протяженными пролетами)	0,65
Историческое и разрушенное здания	0,50

Б.3.4.3 Поправка на материал сооружения k_m

Поправку на материал сооружения определяют по таблице Б.4. При выборе поправки принимают во внимание самый слабый элемент сооружения.

Таблица Б.4 — Поправка на материал сооружения k_b

Основной материал	k_m
Железобетон, сталь, дерево	1,20
Неармированный бетон, полый бетонный блок, кирпичная кладка, легкий перлитобетон и другие аналогичные материалы	1,00
Поризованный бетонный блок автоклавного твердения и другие аналогичные материалы	0,75

Б.3.4.4 Поправка на тип фундамента k_f

Поправка на тип фундамента зависит от того, как этот фундамент уложен в грунте. Данную поправку определяют по таблице Б.5.

Таблица Б.5 — Поправка на тип фундамента k_f

Тип фундамента	k_f[1)]
Насыпь, стена жесткости, фундаментный столб[2)]	0,7
Сплошной фундамент	0,8
Висячая свая	0,9
Свая-стойка	1,0
[1)] Если грунт в зоне фундамента неоднороден, для определения поправки необходимы специальные исследования. [2)] Для набивных свай, устроенных в скальной породе, значение k_f принимают равным 1,0.	

Б.3.5 Поправка на расстояние F_d

Поправка на расстояние является функцией наименьшего расстояния d, м, от источника вибрации до сооружения. Данную поправку определяют по таблице Б.6 и рисунку Б.4.

Таблица Б.6 — Поправка на расстояние F_d для разных источников вибрации

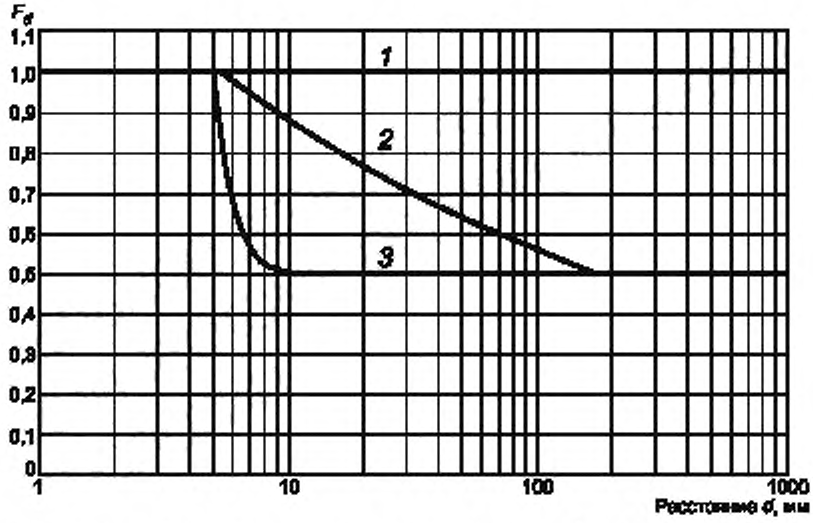
Источник вибрации	Вид грунта[1)]	F_d для расстояний d		
		менее 5 м[2)]	от 5 до 200 м	более 200 м
Взрывные работы, выдалбливание	Скальная порода	1,0	1,0	1,0
	Обычный грунт	1,0	$1{,}35d^{-0{,}19}$	0,5
Ударная забивка свай и шпунтовых свай; снос сооружений	Обычный грунт	1,0	$0{,}5\left[1+e^{-\left(\frac{d-5}{3}\right)^2}\right]$	0,5
Забивка свай и шпунтовых свай виброкопром	—	1,0	1,0	1,0
Виброуплотнение		1,0	1,0	1,0
Движение машин		1,0	$1{,}35d^{-0{,}19}$	0,5
[1)] Вид грунта на месте возведения сооружения (см. таблицу Б.2). [2)] Следует дать специальную оценку риска деформационных повреждений. Эксперт может допустить более высокие значения вибрации.				

Б.3.6 Поправка на вид источника вибрации F_k

Предельное значение вибрации зависит от ее характера: представляет ли она собой повторяющиеся ударные или непрерывные процессы. Поправку на вид источника вибрации F_k определяют по таблице Б.7.

Таблица Б.7 — Поправка на вид источника вибрации F_k

Источник вибрации	F_k
Взрывные работы; ударная забивка свай и шпунтовых свай; снос сооружений; движение машин во время строительных работ	1,0
Забивка свай и шпунтовых свай виброкопром; виброуплотнение; выдалбливание	0,8



1 — взрывные работы (в скальной породе), выдалбливание (скальной породы), забивка свай и шпунтовых свай виброкопром; *2* — взрывные работы (в обычном грунте), движение машин во время строительных работ; *3* — ударная забивка свай и шпунтовых свай, снос сооружений

Рисунок Б.4 — Зависимость поправки на расстояние F_d от наименьшего расстояния d между источником вибрации и сооружением

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160 91.120.25 Ж02

Ключевые слова: вибрация, здания, эксплуатационная надежность, измерения, скорость, механические напряжения

Редактор *Т.А. Леонова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 02.07.2008. Подписано в печать 28.07.2008. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,80. Тираж 286 экз. Зак. 948.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru »@gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru