МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 413.1325800.2018**

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ПОДВЕРЖЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Правила проектирования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ — АО «НИЦ «Строительство» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2018 г. № 707/пр и введен в действие с 8 мая 2019 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2018
© Стандартинформ, оформление, 2019

Настоящий свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 2
4.1 Основные положения 2
4.2 Объемно-планировочные и конструктивные решения 4
4.3 Динамические характеристики материалов конструкций 6
4.4 Динамические нагрузки от машин и оборудования 8
4.5 Нагрузки, передающиеся через виброизоляторы 12
5 Основные расчетные положения 15
6 Расчетные схемы 20
7 Частоты и формы собственных колебаний несущих конструкций 21
8 Перемещения и внутренние усилия 23
Приложение А Способы уменьшения колебаний несущих конструкций 25
Приложение Б Общие положения динамического расчета строительных конструкций 29

Введение

Настоящий свод правил разработан в соответствии с федеральными законами от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Свод правил выполнен авторским коллективом АО «НИЦ «Строительство» — ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (д-р техн. наук *И.И. Ведяков*, *Ю.Т. Чернов*, канд. техн. наук *М.В. Арутюнян*, *О.В. Крылова, А.М. Арутюнян*).

С В О Д П Р А В И Л

ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ПОДВЕРЖЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Правила проектирования

The buildings and structures under dynamic actions. Design rules

Дата введения — 2019—05—08

1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил распространяется на проектирование конструкций зданий и сооружений, подверженных динамическим воздействиям, кроме сейсмических и ветровых.

1.2 Настоящий свод правил не распространяется на проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений, подверженных динамическим воздействиям.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 5781—82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия

ГОСТ 7348—81 Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия

ГОСТ 10884—94 Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия

ГОСТ 13840—68 Канаты стальные арматурные 1×7. Технические условия

СП 16.13330.2017 «СНиП II-23—81* Стальные конструкции»

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01—83* Основания зданий и сооружений»

СП 26.13330.2012 «СНиП 2.02.05—87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками» (с изменением № 1)

СП 63.136330.2012 «СНиП 52-01—2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с изменениями № 1, 2, 3)

СН 2.2.4/2.1.8.566—96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **виброизолятор:** Основной элемент системы виброизоляции.

3.2 **виброизоляция:** Метод вибрационной защиты, основанный на ослаблении связей между источником возбуждения и защищаемым объектом.

3.3 **октавная полоса частот:** Полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно 2.

4 Общие положения

4.1 Основные положения

4.1.1 Положения настоящего свода правил распространяются на проектирование, расчет и эксплуатацию зданий и сооружений, подвергающихся эксплуатационным динамическим воздействиям и воздействиям аварийного типа, возникающим, в частности, при падении грузов, аварийной остановке оборудования и т. п.

4.1.2 Несущие конструкции зданий и сооружений, подвергающихся динамическим воздействиям, следует проектировать в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил проектирования строительных конструкций с учетом положений настоящего свода правил.

4.1.3 Источники динамических воздействий могут быть как внутренними, расположенными внутри сооружения, так и внешними по отношению к сооружениям.

4.1.4 К внутренним источникам относятся: виброактивное оборудование, движущиеся механизмы, в частности погрузчики и мостовые трапы. Воздействие от последних носят нерегулярный характер.

4.1.5 Исходные данные для проведения расчета несущих конструкций, подвергающихся воздействию динамических нагрузок, должны содержать:

а) планы и разрезы здания или сооружения;

б) схемы размещения оборудования с указанием веса и способа закрепления на несущей конструкции, а также все полезные нагрузки;

в) характеристики динамических нагрузок:

- направление и характер приложения к конструкции динамических нагрузок (сосредоточенные силы, моменты, распределенная нагрузка);
- сведения об изменении нагрузки во времени: для гармонической нагрузки — амплитуду и период; для периодической нагрузки — период и закон изменения нагрузки за период(ы), амплитуды и фазы составляющих гармоник; для однократной ударной или импульсной нагрузки — закон изменения во времени (форму импульса);
- направление и способ приложения импульса к конструкции; для периодических ударов и импульсов — период и закон изменения нагрузки за период; для нагрузок, возникающих при пуске и остановке машин, — скорости нарастания или убывания числа оборотов;
- если импульсная нагрузка возникает вследствие ударов тела по конструкции, а значение и форма импульса неизвестны, необходимо установить:
  - вес ударяющего тела и форму его ударной части,
  - значение и направление скорости тела в начале удара,
  - коэффициент восстановления при ударе и по возможности продолжительность удара;

г) при отсутствии данных о динамических нагрузках, указанных в перечислении в), — сведения о машинах и установках, являющихся источниками колебаний, позволяющие определить эти нагрузки расчетным путем:

- типы машин, их число и способ крепления к несущим конструкциям;
- характеристики двигателя (вид двигателя, мощность, общий вес и вес ротора, число оборотов);
- число оборотов главного вала машины в минуту (или число ходов, ударов в минуту), а также скорость их нарастания при пуске и убывания при остановке машины;
- кинематическую схему машины; размеры и вес движущихся частей, моменты инерции; значения эксцентриситетов вращающихся частей, радиусов эксцентриков, радиусов кривошипов или ходов возвратно-поступательно движущихся частей; вес и скорости ударяющихся частей в момент удара, геометрические формы контактных поверхностей;

д) среднее число пусков (включений) машины в сутки, среднюю продолжительность работы машины между двумя последовательными пусками;

е) данные о характере колебаний оснований уже существующих зданий (максимальных значениях скоростей и ускорений);

ж) сведения о пребывании людей на колеблющихся конструкциях, с указанием среднего времени пребывания в процентах к рабочему времени;

и) для строительной площадки — сведения о грунтах и возможных источниках колебаний, расположенных в радиусе до 700 м от проектируемого здания или сооружения, характер и уровень колебаний поверхности грунта, частотный состав.

4.1.6 Расчеты выполняют на действие нагрузок, вызванных:

а) нормальной работой, пуском и остановкой, в том числе аварийной, установленных в здании машин и оборудования с возвратно-поступательным, вращательным и другим подобным движением масс;

б) работой машин ударного действия (штампов, молотов, прессов, испытательных машин и т. п.), возбуждающих кратковременные, импульсные и т. п. нагрузки;

в) быстро прикладываемыми или снимаемыми силами (при разрушении, в том числе внезапном, несущих элементов конструкций), свободно летящих или падающих частей.

4.1.7 К внешним источникам, воздействия от которых передаются в виде волн через грунт на площадки, фундаменты и далее на конструкции сооружений, относятся: транспортные магистрали с интенсивным движением (автомобильные и железные дороги, линии метрополитена); промышленные зоны; строительные площадки с виброактивным оборудованием (виброкатками, ударными установками и т. п.) и др.

4.1.8 Динамический расчет несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на действие эксплуатационных нагрузок от внутренних источников, как правило, носит поверочный характер и необходим для проверки допустимости перемещений и внутренних усилий в конструкциях, рассчитанных на статические нагрузки при совместном действии статической и динамической нагрузок, выполнения требований:

а) прочности, выносливости, деформативности конструкций;

б) санитарно-гигиенических норм;

в) технологий, связанных с производственным процессом;

г) по ограничению уровней дополнительных осадок зданий вследствие воздействия вибраций, передающихся через конструкции на фундаменты.

4.1.9 При расчетах сооружений на динамические воздействия аналитическими или численными методами необходимо определять частоты собственных горизонтальных и горизонтально-вращательных колебаний и для отдельных элементов конструкций, главным образом перекрытий, — вертикальных колебаний.

4.1.10 Возможность возбуждения колебаний в резонансной области (зоне) оценивают расчетом, используя данные о характере динамических воздействий: амплитудные значения и частотный спектр собственных колебаний.

4.1.11 При близких расчетных значениях частот собственных колебаний элементов конструкций зданий, определенных на стадии проектирования, и составляющих частотного спектра колебаний, возбуждаемых внешними источниками в пределах менее 30 %, следует предусматривать инструментальное обследование колебаний поверхности грунта на площадке с целью:

а) определить вид колебаний — периодические, свободные, случайные и т. п.;

б) вычислить частотный спектр;

в) определить амплитудные значения перемещений, скоростей и ускорений из записей в реальном времени и оценить их допустимость в соответствии с нормируемыми предельными значениями.

4.1.12 Колебания поверхности грунта на площадке и фундаментов, возбуждаемые внутренними и внешними источниками, расположенными на расстоянии менее 700 м, не должны превышать предельные значения уровней колебаний (скоростей и ускорений).

4.1.13 При оценке уровней колебаний поверхности грунта вблизи зданий или на строительных площадках необходимо выполнять требования:

- по ограничению уровней скоростей, которые определяют влияние колебаний на прочность конструкций (появление и развитие трещин, повреждения) — пункт 6.14.3 СП 22.13330.2016;
- ограничению уровней ускорений, провоцирующих развитие дополнительных осадок, и, как следствие, повреждений и разрушений конструкций.

4.1.14 Критические уровни ускорений колебаний $w_{кр}$, при превышении которых возможно развитие дополнительных слабозатухающих осадок, следует определять по результатам опытов организаций, связанных с расчетом и проектированием оснований зданий и сооружений.

Примечание — При отсутствии опытных данных допускается принимать $w_{кр}$ = 15 см/с^2 — для слабых грунтов, $w_{кр}$ = 30 см/с^2 — для плотных грунтов.

4.1.15 При определении осадок в слабых грунтах следует учитывать рекомендации пункта 6.14.4 СП 22.13330.2016.

4.1.16 Если расчетом установлен недопустимо высокий уровень колебаний конструкций, необходимо предусмотреть специальные мероприятия (изменение расположения машин, применение виброизоляции, балансировка, уравновешивание и изменение числа оборотов машин и т. д.), позволяющие уменьшить колебания (см. приложение А).

4.1.17 Рекомендуемые мероприятия по снижению дополнительных осадок, связанных с вибрациями, приведены в пункте 6.14.6 СП 22.13330.2016.

4.1.18 Существенное увеличение поперечных сечений и армирования, а также изменение конструктивных схем элементов несущих конструкций в целях понижения уровня колебаний, связанное со значительными дополнительными затратами, допускается лишь в отдельных случаях и должно обосновываться технико-экономическим расчетом, подтверждающим экономическую целесообразность проведения мероприятий конструктивного характера.

4.2 Объемно-планировочные и конструктивные решения

4.2.1 Машины, установки и оборудование, создающие значительные динамические нагрузки, следует располагать на полу первых этажей многоэтажных зданий или на отдельных фундаментах, не связанных с каркасом.

Устанавливаемые вне зданий на самостоятельных фундаментах машины и установки (например, дизели, компрессоры, копры, молоты), являющиеся источниками колебаний, передающихся через грунт на близлежащие здания, следует располагать как можно дальше от жилых и общественных, а также от промышленных зданий.

4.2.2 Возможны два вида связи машин и оборудования с несущими конструкциями:

а) жесткая связь: вид связи, при которой машина или элемент оборудования связаны с конструкцией специальными жесткими креплениями или опираются на конструкцию без креплений;

б) гибкая связь: вид связи, при которой между машиной или элементом оборудования и несущей конструкцией вводятся податливые вставки — виброизоляторы с целью уменьшения динамического воздействия на конструкцию (активная виброизоляция) или с целью изоляции машины или прибора от колеблющейся конструкции (пассивная виброизоляция).

Для каждого из указанных видов связи машин или оборудования с несущими конструкциями допускается два способа установки:

а) непосредственно на конструкцию или виброизоляторы;

б) на специальный постамент (бетонная или железобетонная подушка, металлическая рама и т. д.), опирающийся на конструкцию или виброизоляторы или являющийся частью конструкции.

Примечания

1 Во избежание горизонтальных смещений свободно стоящих или виброизолированных машин следует установить устройства креплений или боковых упоров, препятствующих этим смещениям.

2 Размеры и вес постамента при установке на виброизоляторы, кроме обычных конструктивных требований, определяются динамическим расчетом для обеспечения надлежащего эффекта виброизоляции.

4.2.3 Машины и установки с большими динамическими нагрузками следует опирать (либо подвешивать) на специальные опорные конструкции, имеющие самостоятельные фундаменты, не связанные с каркасом здания. В отдельных случаях следует также применять опорные конструкции, соединенные с колоннами каркаса, но не связанные с перекрытиями.

4.2.4 Конструкции зданий и сооружений, в которых устанавливают машины и оборудование с динамическими, в том числе импульсными нагрузками, следует выполнять из железобетона.

При наличии машин категории динамичности IV (см. таблицу 4.7) следует применять монолитные и сборно-монолитные железобетонные конструкции.

4.2.5 Устройство перекрытий должно обеспечивать достаточную жесткость в своей плоскости, чтобы горизонтальные динамические нагрузки распределялись на все рамы каркаса или стены здания (отсека, если здание разрезано деформационными швами).

При проектировании сборных железобетонных перекрытий следует предусматривать соответствующие конструктивные мероприятия, обеспечивающие связь плит друг с другом. Деревянные перекрытия в виде настилов по металлическим балкам под машины с динамическими нагрузками выше категории динамичности I применять не следует.

4.2.6 При необходимости жесткость каркаса здания или сооружения следует повышать с помощью специальных дополнительных диафрагм, связанных с каркасом. Диафрагмы допускается выполнять в виде железобетонных перегородок и рам, крестовых или портальных стальных связей. Жесткость здания в продольном направлении допускается увеличивать путем образования продольных рам с жесткими узлами за счет жесткого соединения ригелей с колоннами.

Жесткость каркасно-панельных зданий следует повышать путем соответствующей раскладки стеновых панелей.

4.2.7 В несущих конструкциях, подвергающихся воздействию динамических нагрузок, применение бетона проектной марки ниже В20 не допускается.

4.2.8 В предварительно напряженных железобетонных конструкциях, подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости, минимальная проектная марка бетона и кубиковая прочность бетона при его обжатии должны быть увеличены на 20—25 % по отношению к прочности бетона, принятой при статическом расчете.

4.2.9 В железобетонных конструкциях, подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости, арматурная сталь принимается по таблице 4.1 в зависимости от температурных условий эксплуатации конструкций.

4.2.10 Для конструкций, не подлежащих расчету на прочность с учетом выносливости (см. 5.7), арматурная сталь принимается в соответствии с требованиями СП 63.13330, предъявляемыми к конструкциям, рассчитываемым на статические нагрузки.

Таблица 4.1 — Сводная таблица для определения области применения арматурных сталей в железобетонных конструкциях, подвергающихся действию динамических нагрузок

Вид и класс арматуры	Химический состав (марка) стали; нормативные документы, регламентирующие качество арматуры	Диаметр, мм	Температурные условия эксплуатации конструкций			
			в отапливаемых зданиях	на открытом воздухе и в неотапливаемых зданиях при температуре, °С		
				до –30	ниже –30 до –40	ниже –40 до –55
Сталь арматурная класса А-I (А240)	Ст3кп Ст3пс Ст3сп по ГОСТ 5781	6—40	+ + +	+ + +	+ + –	+ – –
Сталь арматурная класса А-III (А400)	35ГС 25Г2С 32Г2Рпс по ГОСТ 5781	6—40	+ + +	+ + +	– + –	– +[1] –
Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций класса Ат500С	Ст5сп Ст5пс по ГОСТ 10884	6—40	+ +	+ +	+ +	+[1] +
Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций класса Ат600С (Ат-IVС)	25Г2С 35ГС 28С 27ГС по ГОСТ 10884	10—40	+ + + +	+ + + +	+ – + –	+ – – –
Сталь арматурная класса А-IV (А600)	20ХГ2Ц по ГОСТ 5781	10—32 (36—40)	+	+	+	+[2]
Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций класса: Ат600 Ат800 Ат1000	 20ГС 20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2, 28С, 25Г2С, 22С 20ГС 20ГС2, 25С2Р по ГОСТ 10884	 10—40 10—32	 +[2] +[2] +[2]	 +[2] +[2] +[2]	 +[2] +[2] +[2]	 +[2] +[2] +[2]

Окончание таблицы 4.1

Вид и класс арматуры	Химический состав (марка) стали; нормативные документы, регламентирующие качество арматуры	Диаметр, мм	Температурные условия эксплуатации конструкций			
			в отапливаемых зданиях	на открытом воздухе и в неотапливаемых зданиях при температуре, °С		
				до –30	ниже –30 до –40	ниже –40 до –55
Проволока арматурная ВР-2 класса прочности 1400, 1500	По ГОСТ 7348	–	+	+	+	+
Канат арматурный (пряди) К7 класса прочности 1400—1700	По ГОСТ 13840	–	+	+	+	+

[1] Арматурная сталь может применяться только в вязаных каркасах и сетках.
[2] Арматура может применяться в виде целых стержней мерной длины.

Примечание — Знак «+» означает применение допускается, знак «–» — применение не допускается.

4.3 Динамические характеристики материалов конструкций

4.3.1 Расчетные сопротивления материалов строительных конструкций, воспринимающих динамические нагрузки от машин, установок и оборудования, принимают независимыми от скорости деформирования и равными расчетным сопротивлениям при статическом нагружении. Модуль упругости материалов при динамическом нагружении принимают равным статическому модулю упругости.

Значение модуля сдвига принимают равным 0,35 от модуля Юнга.

Примечания

1 При расчете ограждающих и несущих конструкций на кратковременные однократные динамические воздействия, не связанные с нормальной работой машин, установок и оборудования (например, при авариях), допускается развитие пластических деформаций и разрушение отдельных элементов конструкций, если это не вызывает необратимых последствий. При этом следует учитывать увеличение пределов прочности и текучести при высоких скоростях деформирования.

2 При проведении динамических расчетов несущих конструкций в качестве модуля упругости E следует принимать:

- для стальных конструкций — модуль продольной упругости;
- бетонных и железобетонных конструкций — модуль упругости бетона при сжатии;
- каменных и армокаменных конструкций — начальный модуль упругости кладки;
- деревянных конструкций E = 10 МПа независимо от породы древесины.

Для модуля сдвига кирпичной кладки и бетонных панелей ограждения допускается принимать приближенное значение $G = 0{,}3\,E$, где E — начальный модуль упругости кирпичной кладки.

4.3.2 Способность материала конструкций поглощать энергию колебаний вследствие внутреннего трения, обусловливающая затухание свободных колебаний, характеризуется коэффициентом поглощения ψ, представляющим отношение энергии, необратимо поглощенной в конструкции за один полный цикл колебаний, к полной энергии упругих колебаний конструкции за тот же цикл. Коэффициент поглощения ψ равен удвоенному логарифмическому декременту δ собственных колебаний конструкций. Коэффициент неупругого сопротивления γ, значения которого для различных материалов (при изгибных колебаниях конструкций) приведены в таблице 4.2, вычисляют по формуле

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi} = \frac{\delta}{\pi}. \qquad (4.1)$$

Дифференциацией коэффициента неупругого сопротивления по категориям динамичности (см. таблицу 4.2) приближенно учитывается зависимость поглощения энергии вследствие внутреннего трения от динамических напряжений в конструкциях.

Таблица 4.2 — Значения коэффициента γ

Материал	Значения коэффициента γ	
	при динамической нагрузке категорий I и II	при динамической нагрузке категорий III и IV
Железобетон: ненапряженный предварительно напряженный	 0,05 0,025	 0,1 0,05
Прокатная сталь	0,01	0,025
Кирпичная кладка	0,04	0,08
Дерево	0,03	0,05

4.3.3 В случае составной, многослойной и комбинированной конструкций, выполненных из различных материалов, коэффициент γ вычисляют по формуле

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^{m} \gamma_n D_n}{D}, \quad (4.2)$$

где γ_n — коэффициент неупругого сопротивления n-го элемента или составной части конструкции;

D_n — жесткость n-го элемента или составной части;

m — число элементов или составных частей конструкции;

D — суммарная жесткость, вычисляемая по формуле

$$D = \sum_{n=1}^{m} D_n.$$

Жесткость составных частей для монолитного сечения следует определять относительно нейтральной оси всего сечения, для немонолитного — относительно своей нейтральной оси.

4.3.4 Расчетные сопротивления материалов конструкций, подвергающихся действию статических и эпизодических динамических нагрузок (см. 4.4.2), следует принимать такими же, как и при расчете на постоянные статические нагрузки.

4.3.5 Расчетные сопротивления материалов конструкций, подвергающихся одновременному действию статических и систематических динамических нагрузок (см. 4.4.2), следует вычислять путем умножения расчетных сопротивлений для статических нагрузок на понижающий коэффициент ρ, зависящий от отношения наименьшего напряжения в рассчитываемом сечении элемента σ_{min} к наибольшему напряжению σ_{max} (каждое напряжение со своим знаком) и определяемый согласно действующим нормативным документам (стальные конструкции — СП 16.13330; железобетонные конструкции — СП 63.13330). Отношение наименьшего напряжения к наибольшему ρ вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{\sigma_{мин}}{\sigma_{макс}} = \frac{1 - S}{1 + S}, \quad (4.3)$$

где $S \geq 0$ — отношение абсолютной величины наибольшего динамического напряжения (усилия) к абсолютной величине статического напряжения (усилия).

4.3.6 Жесткость несущих конструкций, воспринимающих динамические нагрузки эксплуатационного характера, следует определять по формулам, используемым в статических расчетах, при условии упругой работы материала.

Жесткость изгибаемых элементов железобетонных конструкций, применяемых в промышленных зданиях под машины и установки с динамическими нагрузками, при определении динамических перемещений и напряжений допускается определять по формуле

$$B = E_\sigma J, \quad (4.4)$$

где E_σ — модуль упругости бетона;

J — момент инерции поперечного сечения элемента (для армированных конструкции без учета арматуры).

4.3.7 Жесткость изгибаемых элементов железобетонных конструкций при наличии соответствующих экспериментальных данных допускается определять с учетом раскрытия трещин в растянутой зоне бетона.

4.4 Динамические нагрузки от машин и оборудования

4.4.1 Динамическая нагрузка характеризуется видом (сила, момент), законом изменения во времени ее величины (гармоническая, периодическая, импульсная, внезапно приложенная), распространением (неподвижная, движущаяся с постоянной или переменной скоростью и др.), направлением (вертикальная, горизонтальная и др.), характером распределения по конструкции (сосредоточенная, распределенная по заданному закону).

4.4.2 Динамические нагрузки в зависимости от продолжительности вызываемых ими колебаний и периодичности действия делятся на единичные и вынужденные. К единичным нагрузкам относятся одиночные импульсы и удары, кратковременные перегрузки в аварийных режимах, нагрузки, возникающие при пуске и остановке машин во время перехода через резонанс (при числе пусков в сутки менее пяти) и т. д. К вынужденным нагрузкам относятся периодические и непериодические нагрузки при регулярной работе машин и установок в рабочем режиме, а также многократные импульсы и удары, при действии которых необходимо учитывать усталостные эффекты.

4.4.3 Динамические нагрузки от машины или механизма полностью определены, если известны направление, линия действия и законы изменения во времени их главного вектора и главного момента.

4.4.4 Нормативные динамические нагрузки, развиваемые машинами, следует определять по 4.4.5, расчетные — по 4.4.12.

4.4.5 Нормативное значение амплитуды динамической нагрузки R, изменяющейся во времени по гармоническому закону, вычисляют по формуле

$$R = me\omega^2, \tag{4.5}$$

где m — масса возвратно-поступательно движущихся или вращающихся частей машины, вычисляемая по формуле

$$m = \frac{G}{g},$$

здесь G — номинальный вес возвратно-поступательно движущихся или вращающихся частей машины;

g — ускорение силы тяжести;

e — амплитуда перемещений центра масс, равная радиусу эксцентрика, половине хода в машинах с возвратно-поступательным движением массы, нормальному эксцентриситету вращающейся массы в ротационных машинах или нормальному приведенному эксцентриситету при сложном движении частей;

ω — круговая частота вращения главного вала машины, рад/с, вычисляемая по формуле

$$\omega = \frac{N\pi}{30},$$

здесь N — число оборотов главного вала машины в 1 мин.

Для машин с конструктивно неуравновешенными движущимися частями (например, для машин с эксцентриковыми механизмами) значение G определяют как сумму весов движущихся частей, а e — как радиус эксцентрика.

Для машин с номинально уравновешенными вращающимися частями (центрифуги, вентиляторы и т. п.) значение G представляет собой полный вес вращающихся частей (например, в центрифугах — вес барабана и вала вместе с заполнением), а значение e — эксцентриситет, равный расчетному смещению центра вращающихся масс от оси вращения.

Нормативное значение амплитуд вертикальной и горизонтальной составляющей нагрузок R_{ny}, R_{nx} вычисляют по формуле

$$R_{ny} = R_{nx} = \mu \sum_{i=1}^{n} G_i = \mu \cdot G, \tag{4.6}$$

где μ — коэффициент пропорциональности, приведенный в таблице 9 СП 26.13330.2012.

4.4.6 При расчете конструкций на импульсные воздействия в зависимости от времени действия следует различать два вида нагрузок: кратковременный импульс и мгновенный импульс. Импульс считается кратковременным, если продолжительность его действия $0{,}1T_n \le \tau \le 2{,}5T_1$, и мгновенным, если продолжительность импульса $\tau < 0{,}1T_n$. Здесь T_1 — наибольший (основной), T_n — наименьший перио-

ды собственных колебаний конструкции. Для конструкции с 1-й степенью свободы $T_n = T_1$, для конструкции с бесконечно большим числом степеней свободы при определении вида импульса допускается принимать $T_n = 0{,}05T_1$.

Примечания

1 При $\tau > 2{,}5T_1$ расчет конструкции на действие нагрузки $P(t)$ следует сводить к ее статическому расчету на действие эквивалентной нагрузки χP_0, где P_0 — максимальное значение переменной нагрузки, а χ — коэффициент, определяемый по таблице 4.3 в зависимости от вида функции $P(t)$ и относительной продолжительности действия силы $\tau' = \tau / T_1$, стремящейся с увеличением τ к 1 или 2.

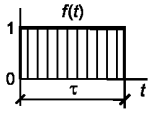
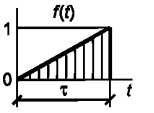
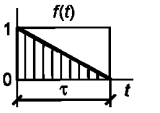
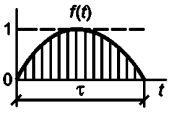
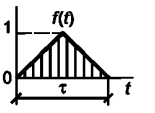
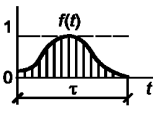
2 Расчет конструкции на внезапную нагрузку или разгрузку следует проводить также согласно примечанию 1. В этом случае P_0 — величина приложенной или снятой нагрузки, $\chi = 2$ для внезапной нагрузки и $\chi = 1$ — для внезапной разгрузки.

4.4.7 При расчете конструкций с n степенями свободы на импульсные нагрузки согласно настоящему своду правил кратковременный импульс, действующий на конструкцию, следует заменять в целях удобства и единства метода расчета совокупностью n эквивалентных мгновенных импульсов, соответствующих различным собственным формам колебаний конструкции.

Мгновенный импульс, эквивалентный кратковременному по начальной амплитуде i-го тона собственных колебаний конструкции S_i, вычисляют по формуле

$$S_i = \bar{\varepsilon}_i \; S \; (i = 1, 2, \ldots, n). \qquad (4.7)$$

Таблица 4.3 — Значения коэффициентов $\bar{\varepsilon}_i$, χ

$\tau_i' = \tau / T_i$	Форма импульса $f(t)$											
												
	$\bar{\varepsilon}_i$	χ	$\bar{\varepsilon}_i$	χ	$\bar{\varepsilon}_i$	χ	$\bar{\varepsilon}_i$	χ	$\bar{\varepsilon}_i$	χ	$\bar{\varepsilon}_i$	χ
0,01	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—	1,000	—
0,10	0,983	—	0,990	—	0,990	—	0,991	—	0,994	—	0,993	—
0,20	0,936	—	0,958	—	0,958	—	0,963	—	0,968	—	0,974	—
0,30	0,858	—	0,905	—	0,905	—	0,917	—	0,930	—	0,943	—
0,50	0,637	—	0,755	—	0,761	—	0,785	—	0,811	—	0,849	—
0,70	0,455	—	0,569	—	0,631	—	0,625	—	0,667	—	0,724	—
1,00	0,318	—	0,369	—	0,494	—	0,433	—	0,480	—	0,543	—
1,40	0,227	—	0,253	—	0,379	—	0,277	—	0,306	—	0,365	—
1,80	0,177	—	0,192	—	0,307	—	0,192	—	0,208	—	0,252	—
2,00	0,159	—	0,172	—	0,280	—	0,167	—	0,184	—	0,212	—
3,0	0,106	2	0,112	1,05	0,195	1,84	0,104	1,2	0,117	1,1	0,119	1,12
6,0	0,053	2	0,054	1,03	0,102	1,92	0,045	1,09	0,056	1,05	0,055	1,03
9,0	0,035	2	0,036	1,02	0,069	1,94	0,029	1,06	0,037	0,037	0,035	1,01
10,0	0,032	2	0,032	1,02	0,062	1,95	0,026	1,05	0,033	1,03	0,032	1,01
15,0	0,021	2	0,021	1,01	0,042	1,97	0,017	0,04	0,021	1,02	0,021	1,0
20,0	0,016	2	0,016	0,01	0,031	1,97	0,013	1,03	0,016	1,02	0,016	1,0

Примечание — $\bar{\varepsilon}_i < 1$ — коэффициент, зависящий от отношения $\tau_i' = \tau / T_i$ продолжительности кратковременного импульса к периоду T_i собственных колебаний конструкций по i-му тону, а также от формы импульса; фактическую величину S, определяемую по форме импульса, вычисляют по формуле (4.8).

4.4.8 Удар по конструкции движущимся или падающим телом является более сложным случаем кратковременных импульсных нагрузок, при котором величина, продолжительность и форма импульса зависят от характеристик (инерционных, упругих, неупругих и геометрических) ударяющего тела и конструкции. При отсутствии необходимых данных величину кратковременного ударного импульса S вычисляют по формуле*

$$S = mv_0 (1 + v), \quad (4.8)$$

где m — масса ударяющего тела;

v_0 — скорость ударяющего тела в начале удара, нормальная к поверхности конструкции;

v — коэффициент восстановления при ударе, равный отношению нормальных составляющих скоростей ударяющего тела в конце и начале удара. При $0 < v < 1$ удар называется упругим, а при $v = 0$ — абсолютно неупругим (см. таблицу 4.4).

Таблица 4.4 — Ориентировочные значения коэффициента v восстановления при ударе

Материал контактирующей поверхности конструкции	Материал и форма ударяющего тела				
	твердые металлы (стали, сплавы)		медь, алюминий, дерево, бетон, камень, твердые пластмассы		Мягкие пластические материалы (асфальт, глины, смолы, масла и пр.)
	шар	параллелепипед	шар	параллелепипед	
Сталь	0,6	0,35	0,4	0,25	0
Бетон	0,35	0,15	0,25	0,1	0
Камень	0,4	0,2	0,3	0,15	0
Дерево	0,55	0,3	0,4	0,2	0
Ксилолит	0,2	0,1	0,1	0,05	0
Асфальт	0	0	0	0	0

4.4.9 Коэффициент надежности по нагрузке $k_д$ следует принимать по таблице 4.5.

Таблица 4.5 — Значения коэффициента надежности по нагрузке $k_д$

Тип машины	Коэффициент надежности по нагрузке $k_д$
Машины с конструктивно неуравновешенными, движущимися частями	1,3
Машины с номинально уравновешенными, а фактически неуравновешенными движущимися частями	4
Машины ударного и импульсного действия	1

4.4.10 При сосредоточенном опирании машины на перекрытие следует считать, что динамические силы приложены в точках опирания, при этом если отношение расстояния a между опорами машины по длине элемента перекрытия к его пролету l менее 0,2, то сосредоточенные в местах опирания машины силы допускается заменять силой и моментом, приложенными в точке, являющейся проекцией точки приложения инерционной силы R или импульса S на плоскость перекрытия.

При сплошном опирании машины на перекрытие, а также при любом опирании машины на постамент динамические силы и моменты следует считать приложенными к перекрытию сосредоточенно в одной точке, являющейся проекцией точки приложения инерционной силы R или импульса S на плоскость перекрытия.

Для виброизолированных машин динамические силы следует принимать приложенными к перекрытию, при этом под опорами машин установлены виброизоляторы. Амплитуда силы, передающейся через каждый виброизолятор на конструкцию, равна произведению амплитуды колебаний станины, определенной в месте расположения этой опоры, и жесткости виброизоляторов в соответствующем направлении.

4.4.11 Если рабочее число оборотов главного вала машины может изменяться в некоторых пределах, то при вычислении амплитуд динамических нагрузок необходимо принимать максимальное число оборотов главного вала, а при проверке строительных конструкций при резонансных режимах необходимо учитывать изменение динамических нагрузок в частотной полосе от минимального до максимального значений, соответствующих минимальному и максимальному числу оборотов главного вала.

* Формулу (4.8) с необходимыми уточнениями следует использовать при определении нормативных нагрузок от машин ударного действия.

4.4.12 Расчетные значения нагрузок, учитываемые введением коэффициента надежности $k_д$ (см. таблицу 4.5), имеют в подавляющем большинстве случаев длительный характер и поэтому должны учитываться при расчете на выносливость. Расчетные нагрузки, связанные с экстренными режимами работы машин или установок (например, обрыв молотка в молотковых дробилках, осадки в некоторых типах центрифуг и т. п.), носят единичный характер и должны учитываться только при проверке прочности поддерживающих конструкций.

При одновременной работе нескольких машин, расчетные нагрузки от которых связаны с экстренными режимами, их необходимо определять следующим образом. Если j — общее число машин, то расчет следует проводить на нормативную нагрузку от $j - j_1$ машин и на расчетную нагрузку от j_1 машин, где $j_1 = 1$ при $j = 1 \div 10$; $j_1 = 2$ при $j = 11 \div 20$ и т. д. При этом коэффициент надежности по нагрузке вводится для тех машин, которые расположены невыгодным образом или имеют наибольшие нормативные динамические нагрузки.

4.4.13 Машины и установки, создающие динамические нагрузки, подразделяют на три группы в зависимости от частоты воздействия нагрузки, то есть от периода при гармонических и периодических воздействиях (по частотности) и продолжительности импульса при импульсных и ударных воздействиях (см. таблицу 4.6), и на четыре категории динамичности в зависимости от характера и уровня динамического воздействия (см. таблицу 4.7).

Таблица 4.6 — Группы машин и установок по частотности

Группа	Тип машин и установок		
	Частота нагрузки или преобладающей гармоники, цикл/мин	Характеристика частотности	Продолжительность импульса, с
1	До 400	Низкочастотные	Более 0,1
2	От 400 до 2000	Среднечастотные	От 0,1 до 0,005
3	Более 2000	Высокочастотные	Менее 0,005

Примечания

1 Под периодическим воздействием следует понимать «спокойные» периодические нагрузки.

2 Под числом циклов в минуту следует понимать число оборотов, двойных ходов, ударов и т. п. в минуту.

В таблице 4.7 приведены нормативные значения динамических нагрузок от машин и установок различной категории динамичности, вызывающих вертикальные колебания конструкций здания. При расчете зданий на действие горизонтальных возмущающих нагрузок (то есть при рассмотрении горизонтальных колебаний зданий), а также в других случаях, когда трудно установить категорию динамической нагрузки, в предварительных расчетах для определения значения коэффициента γ по таблице 4.2 следует принимать категорию динамичности:

а) при определении динамических перемещений — I, II;

б) при определении динамических напряжений — III, IV.

Таблица 4.7 — Классификация машин, устанавливаемых в промышленных зданиях по категориям динамичности

Категория динамичности	Характеристика динамичности	Значение нормативной нагрузки	
		Амплитуда инерционной силы (при гармонической нагрузке), кН	Эквивалентный мгновенный импульс (при импульсной нагрузке), кН·с
I	Малая	До 0,10	До 0,01
II	Средняя	От 0,10 до 1,00	От 0,01 до 0,10
III	Большая	От 1,00 до 10,00	От 0,10 до 1,00
IV	Очень большая	Более 10,00	Более 1,00

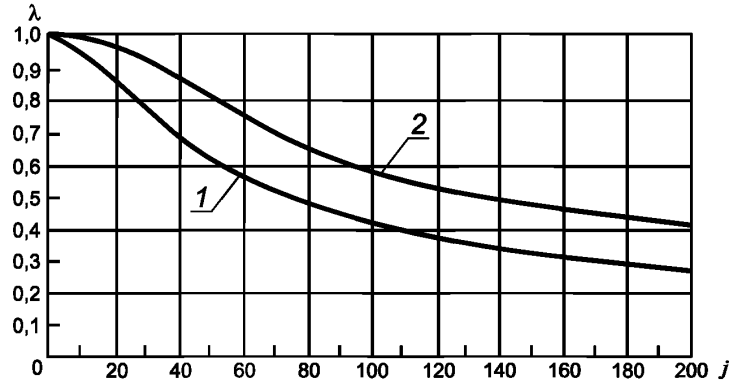
Примечания

1 Значение эквивалентного мгновенного импульса следует определять для основного тона конструкции путем умножения нормативного значения импульса на коэффициент $\bar{\varepsilon}_i$, определяемый по таблице 4.3 в зависимости от отношения продолжительности импульса τ к периоду основного тона T конструкции.

2 При периодической нагрузке в качестве значения нормативной нагрузки в таблице следует принимать наибольшую из амплитуд гармоник.

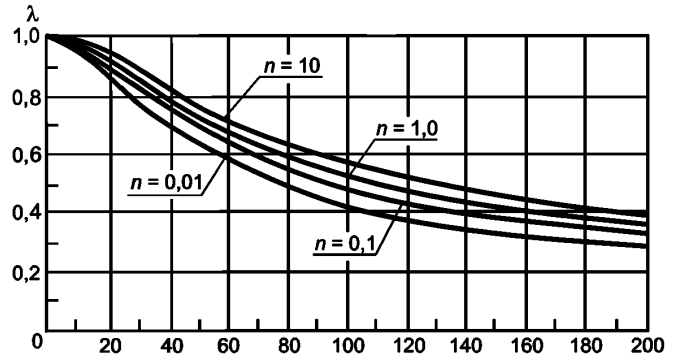
3 Если в одном из смежных пролетов перекрытия установлено несколько машин, то категории машин следует определять для суммарного значения нормативной нагрузки по соответствующей графе таблицы.

4.4.14 При определении суммарного воздействия нескольких машин или установок одного типа, создающих периодические нагрузки с одинаковой частотой или весьма близкими частотами, равнодействующую (суммарную амплитуду) всех нагрузок следует умножать на коэффициент синфазности λ, учитывающий сдвиг фаз между отдельными нагрузками. Коэффициент λ следует определять по графику на рисунке 4.1 для машин и установок с асинхронными двигателями и по графику на рисунке 4.2 для машин и установок с синхронными двигателями.



1 — номинальная частота возмущающей нагрузки попадает в одну из резонансных зон; *2* — номинальная частота возмущающей нагрузки не попадает ни в одну из резонансных зон; *j* — число машин

Рисунок 4.1 — График для определения коэффициента синфазности λ для машин и установок с асинхронными двигателями



n — среднее число включений в сутки; *j* — число машин

Рисунок 4.2 — График для определения коэффициента синфазности λ для машин и установок с синхронными двигателями

4.5 Нагрузки, передающиеся через виброизоляторы

4.5.1 Периодические возмущающие нагрузки, передающиеся на поддерживающую конструкцию виброизолированной машиной, следует определять при следующих режимах:

а) при рабочем режиме машины;

б) при прохождении через резонанс виброизолированной установки в режимах пуска или остановки машины.

4.5.2 При рабочем режиме виброизолированной машины возмущающую гармоническую нагрузку, действующую на поддерживающую конструкцию, следует определять в общем случае как совокупность сил, передающихся через все виброизоляторы.

Составляющие амплитуды возмущающей силы P_i, передающейся через i-й виброизолятор, определяют по формулам

$$\left.\begin{aligned} P_{xi} &= a_{xi} k_{xi} \\ P_{yi} &= a_{yi} k_{yi} \\ P_{zi} &= a_{zi} k_{zi} \end{aligned}\right\}, \qquad (4.9)$$

где a_{xi}, a_{yi}, a_{zi} — амплитуды вынужденных колебаний i-го виброизолятора в направлении осей x, y, z;

k_{xi}, k_{yi}, k_{zi} — жесткость i-го виброизолятора в направлении осей x, y, z.

В случае периодических воздействий P_i, a_{xi} и т. д. необходимо обозначить соответственно амплитуды возмущающей силы и амплитуды колебаний i-го виброизолятора по каждой из учитываемых гармоник.

4.5.3 Если расстояние между крайними виброизоляторами составляет менее 1/5 пролета несущей конструкции, на которую опирается виброизолированная машина, то совокупность возмущающих сил, передающихся через виброизоляторы, приближенно следует заменять сосредоточенной возмущающей силой P и возмущающим моментом M, приложенными в точке конструкции, соответствующей центру жесткости виброизоляторов. Составляющие в направлении осей координат сосредоточенной возмущающей силы P определяют по формулам

$$\left.\begin{aligned} P_x &= a_x K_x \\ P_y &= a_y K_y \\ P_z &= a_z K_z \end{aligned}\right\}, \qquad (4.10)$$

где a_x, a_y, a_z — амплитуды колебаний центра жесткости виброизолированной машины в направлении осей координат;

K_x, K_y, K_z — суммарные жесткости виброизоляторов в направлении осей x, y, z.

Составляющие возмущающего момента M относительно осей координат, проходящих через центр жесткости виброизоляторов, определяют по формулам

$$\left.\begin{aligned} M_x &= \varphi_{0x} K_{\varphi x} \\ M_y &= \varphi_{0y} K_{\varphi y} \\ M_z &= \varphi_{0z} K_{\varphi z} \end{aligned}\right\}, \qquad (4.11)$$

где φ_{0x}, φ_{0y}, φ_{0z} — амплитуды вращательных колебаний установки относительно координатных осей;

$K_{\varphi x}$, $K_{\varphi y}$, $K_{\varphi z}$ — угловые жесткости всех виброизоляторов относительно тех же осей.

Если при этом виброизолируемая установка возбуждает только вертикальные колебания, то амплитуду гармонической нагрузки P (или отдельной гармоники в случае периодической нагрузки), передающейся на конструкцию через виброизоляторы, определяют по формуле

$$P = Q / (\alpha^2 - 1), \qquad (4.12)$$

где Q — амплитуда гармонической силы (или отдельной гармоники), развиваемой машиной и действующей на виброизолируемую установку;

$\alpha = \omega / p_y$ — отношение круговой частоты вынужденных колебаний (возмущающей нагрузки) к круговой частоте собственных колебаний виброизолируемой установки.

Примечание — Если основная гармоника периодической нагрузки, действующей на виброизолированную установку, является преобладающей, то высшие гармоники допускается не учитывать, считая, что через виброизоляторы передается только гармоническая нагрузка с частотой и амплитудой основной гармоники.

4.5.4 При пуске или остановке виброизолированной машины, развивающей в рабочем режиме гармоническую нагрузку, во время прохождения через резонанс на поддерживающую конструкцию может передаваться увеличенная по сравнению с рабочим режимом нагрузка. Нагрузку P при переходе через резонанс допускается принимать с гармонической амплитудой

$$P = \bar{\mu} R \frac{\bar{\omega}^2}{\omega^2} \qquad (4.13)$$

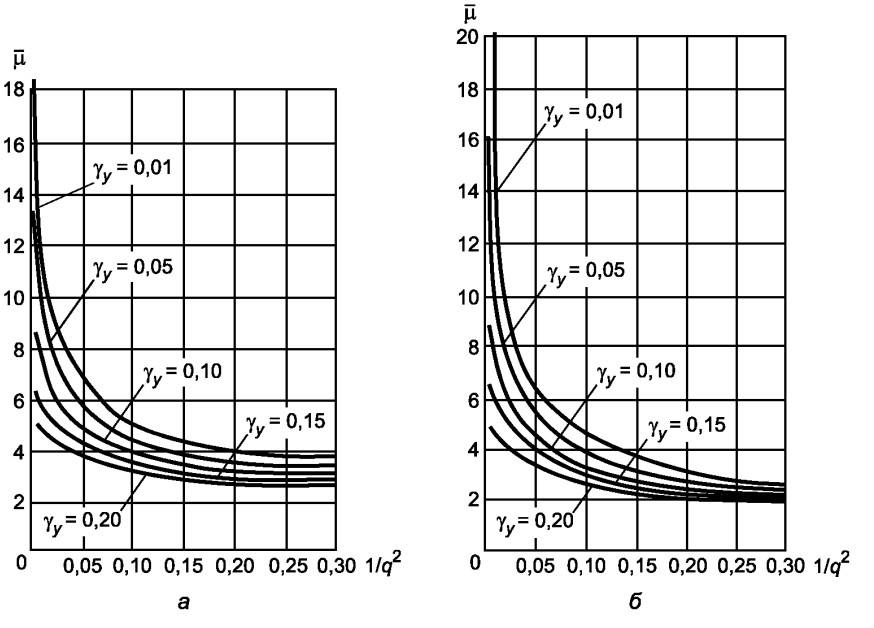
и круговой частотой $\bar{\omega}$

$$\bar{\omega} = p_y \left[1 \pm \frac{2{,}171}{\left(1 + 0{,}14\gamma_y q\right)^2 q} \right], \quad q = \frac{p_y}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad \frac{1}{q^2} = \frac{\varepsilon}{P_x^2}, \tag{4.14}$$

где R, ω — амплитуда и круговая частота гармонической нагрузки в рабочем режиме;
p_y — круговая частота собственных колебаний установки;
γ_y — коэффициент неупругого сопротивления виброизоляторов;
ε — абсолютная величина постоянного углового ускорения, рад/с^2;
$\bar{\mu}$ — коэффициент передачи, определяемый по графикам (см. рисунок 4.3) или по формуле

$$\bar{\mu} = \sqrt{\left[\frac{f_1}{m_1} \mp \frac{1}{2\left(1 + \frac{\bar{\omega}}{p_y}\right)} \right]^2 + \left[\frac{f_2}{m_1} \right]^2}. \tag{4.15}$$

Здесь $m_1 = \sqrt{\frac{1}{q^2} + \gamma_y^2}$.



а — остановочный режим; *б* — пусковой режим

Рисунок 4.3 — Графики для определения коэффициента передачи $\bar{\mu}$ при переходе через резонанс

Параметры f_1 и f_2 следует определять по графикам (см. рисунок 4.4) в зависимости от величины γ_y / m_1.

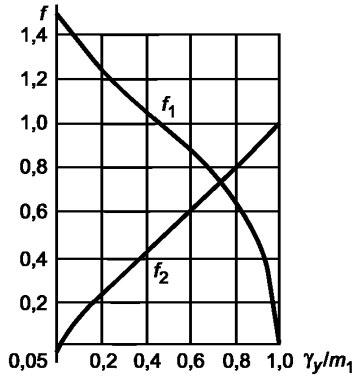


Рисунок 4.4 — График для определения коэффициентов f_1 и f_2

В формулах (4.14), (4.15) знак плюс относится к пусковому режиму, знак минус — к остановочному. Расчет проводят на тот режим, при котором абсолютная величина углового ускорения меньше. При близких ускорениях в обоих режимах следует рассматривать остановочный режим.

Формула (4.13) справедлива для машин и установок, инерционные силы которых создаются в результате движения неуравновешенных масс и определяются по формуле (4.5) или аналогичным формулам. Если амплитуда динамической нагрузки Q остается постоянной при пуске и остановке, то амплитуду, передающуюся при переходе через резонанс нагрузки, следует вычислять путем умножения Q на коэффициент передачи $\bar{\mu}$, определяемый по формуле (4.12) или из графиков на рисунке 4.3, то есть $P = \bar{\mu}\ Q$.

Если виброизолированная машина или установка развивает периодическую нагрузку, то расчет при переходе через резонанс следует производить на преобладающую гармонику.

Примечание — Виброизоляцию машин ударного действия можно считать эффективной, если удовлетворяется условие $p_1 \le 5p_{01}$, где p_1, p_{01} — частоты собственных колебаний соответственно виброизолированного и невиброизолированного оборудования.

5 Основные расчетные положения

5.1 Расчет конструкций должен обеспечить их несущую способность при совместном действии статической и динамической нагрузок и ограничить уровень колебаний конструкций для того, чтобы была исключена возможность вредного влияния колебаний на здоровье людей и технологический процесс.

5.2 Для конструкций, на которых не должны находиться люди, проверку прочности и статической устойчивости следует проводить в соответствии с 5.3, а выносливости — в соответствии с 4.3.5.

Для конструкций, на которых находятся люди, следует проводить проверку уровня колебаний, исходя из требований санитарных норм, а также проверку прочности с учетом выносливости.

Примечания

1 Проверка гибких сжатых элементов на динамическую устойчивость в настоящем своде правил не предусматривается.

2 Расчет на выносливость следует проводить только при действии систематических динамических нагрузок (см. 4.4.2).

5.3 Расчет на прочность и устойчивость элементов конструкций, подверженных одновременному воздействию статических и динамических нагрузок, следует проводить согласно указаниям соответствующих сводов правил по расчету конструкций, при этом воздействие динамических нагрузок учитывается следующим образом:

а) расчет изгибаемых элементов на прочность проводят по условию

$$M_{\text{с}}^{\text{р}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \le M^{\text{р}}, \qquad (5.1)$$

где $M_{\text{с}}^{\text{р}}$ — изгибающий момент от расчетной статической нагрузки;

$M_{\text{д}}^{\text{р}}$ — изгибающий момент от расчетной динамической нагрузки (с тем же знаком, что и $M_{\text{с}}^{\text{р}}$);

$M^{\text{р}}$ — расчетное значение изгибающего момента конструкции.

Примечание — Для изгибаемых элементов при проверке напряжений в направлении главных растягивающих усилий необходимо учитывать динамические нагрузки категорий динамичности III и IV. При этом к поперечной силе от расчетных статических нагрузок следует прибавлять поперечную силу от расчетных динамических нагрузок;

б) при расчете сжато-изогнутых и сжатых элементов на прочность и статическую устойчивость к расчетным статическим нагрузкам необходимо прибавлять расчетные динамические нагрузки, определяемые согласно 4.4.13.

5.4 Расчет изгибаемых элементов на прочность с учетом выносливости проводят по условию

$$M_{\text{с}}^{\text{н}} + M_{\text{д}}^{\text{р}} \le M_{\text{вын}}, \qquad (5.2)$$

где $M_{\text{с}}^{\text{н}}$ — изгибающий момент от нормативной статической нагрузки;

$M_{\text{д}}^{\text{р}}$ — изгибающий момент от расчетной динамической нагрузки (с тем же знаком, что и $M_{\text{с}}^{\text{н}}$);

$M_{\text{вын}}$ — предельный изгибающий момент при расчете на выносливость, определяемый по расчетному пределу выносливости.

Примечания

1 Для железобетонных изгибаемых элементов, а также для внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов следует проводить проверку напряжений в направлении главных растягивающих усилий при действии нагрузок категорий динамичности III и IV. При этом главные растягивающие напряжения от нормативной статической и нормативной динамической нагрузок в предварительно напряженных элементах не должны превышать расчетного предела выносливости материала, определяемого согласно указаниям настоящего свода правил, а в элементах с ненапрягаемой арматурой в случае, если главные растягивающие напряжения превышают расчетный предел выносливости, их равнодействующая по нейтральной оси должна быть полностью воспринята поперечной и отогнутой арматурой, напряжения в которой не должны превышать расчетного предела выносливости.

2 Условия (5.1), (5.2) должны выполняться для напряжений и внутренних усилий обоих знаков.

5.5 При учете динамических нагрузок от машин категорий динамичности III и IV изгибающий момент и поперечная сила, воспринимаемые наименее напряженными от статических нагрузок конструктивно армируемыми сечениями, должны составлять не менее 20 % величины изгибающего момента и поперечной силы, воспринимаемых наиболее напряженным сечением данного пролета.

5.6 При закреплении на поддерживающих конструкциях оборудования, обладающего значительной жесткостью, динамический расчет конструкций допускается проводить с учетом жесткости указанного оборудования.

5.7 При проверке несущей способности конструкций допускается не учитывать динамические нагрузки:

а) от машин и установок категории динамичности I;

б) машин и установок категории динамичности II, устанавливаемых на виброизоляторы;

в) для изгибаемых элементов перекрытий, площадок и т. п. от машин и установок всех категорий динамичности, если наибольшее динамическое перемещение от расчетных нагрузок за вычетом перемещений опор не превышает 1/50 000 пролета элемента;

г) колонн и стен здания, а также стоек площадок и этажерок от машин и установок всех категорий динамичности, если разность горизонтальных динамических перемещений от расчетных нагрузок нижнего и верхнего концов колонны (стены, стойки) в пределах этажа не превышает 1/50 000 высоты этажа;

д) элементов перекрытий при гармонических нагрузках от машин категории динамичности II, относящихся к первой и третьей группам по частотности;

е) колонн и стен зданий, а также стоек площадок и этажерок при горизонтальных гармонических нагрузках категории динамичности II, относящихся ко второй и третьей группам по частотности.

Проверку перемещений элементов конструкции, вызванных действием импульсных нагрузок, допускается не проводить:

а) когда на перекрытии не требуется присутствие персонала;

б) для одиночных импульсов и ударов;

в) импульсных нагрузок категории I, передающихся через виброизоляторы;

г) вертикальных элементов здания.

5.8 Наибольшие перемещения, скорости или ускорения конструкций от нормативной динамической нагрузки не должны превышать допустимых значений, определяемых из условия нормальной работы людей.

Допустимые значения перемещений, скоростей и ускорений приведены в [1].

5.9 Допускаемую амплитуду при гармонических колебаниях α_0, мм, вычисляют по формулам

$$\left.\begin{aligned}\alpha_0 &= \frac{\omega_0}{(2\pi n)^2}\\ \alpha_0 &= \frac{\upsilon_0}{2\pi n}\end{aligned}\right\}, \qquad (5.3)$$

где ω_0, υ_0 — допускаемые амплитуды ускорения и скорости соответственно;

n — частота вынужденных колебаний, Гц.

5.10 Допускаемую амплитуду поперечных колебаний перекрытия α_0, мм, при систематическом воздействии повторных импульсных нагрузок необходимо определять из условия нормальной работы обслуживающего персонала соответственно для высоких и низких частот по формулам:

$$\alpha_0 = \frac{\upsilon_0}{2\pi n_1}(1+d), \text{ для } n_1 \geq 10 \text{ Гц}; \qquad (5.4)$$

$$\alpha_0 = \frac{\omega_0}{4\pi^2 n_1^2}(1+d), \text{ для } n_1 < 10 \text{ Гц}, \qquad (5.5)$$

где $n_1 = p_1/2\pi$ — частота колебаний перекрытия, Гц (кол/с), p_1 — круговая частота в рад/с;

υ_0, ω_0 — допускаемые амплитуды соответственно скорости, мм/с, и ускорения, мм/с^2, при установившихся гармонических колебаниях с частотой n_1;

$1 \geq d \geq 0$ — параметр, повышающий допускаемую амплитуду колебаний, вычисляемый по формуле

$$d = 10\gamma\left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right),$$

где γ — коэффициент внутреннего трения, принимаемый по таблице 4.2;

$T_1 = \frac{1}{n_1}$ — период колебания перекрытия;

$T_0 > T_1$ — период повторных импульсов;

при $T_0 \leq T_1$ параметр d принимается равным нулю.

При отсутствии данных о допускаемых значениях $\alpha_0, \upsilon_0, \omega_0$ следует руководствоваться СН 2.2.4/2.1.8.566.

5.11 Во всех случаях допускаемая амплитуда колебаний перекрытий и перегородок не должна превышать 0,6 мм, если нет других, более жестких ограничений.

5.12 Уровни колебаний несущих конструкций (например, покрытий, площадок и пр.), на которых люди могут находиться лишь непродолжительное время (до 15 мин), не должны превышать уровни колебаний, вредных при длительном воздействии (см. таблицу 5.1). Колебания несущих конструкций, на которых не должны находиться люди, допускается ограничивать в тех случаях, когда колебания подвесного оборудования, осветительных приборов и т. п. могут оказывать отрицательное воздействие на работающих в здании людей.

Таблица 5.1 — Характеристика воздействия колебаний на людей в зависимости от скорости и ускорения гармонических перемещений

Характеристика воздействия колебаний на людей	Предельное ускорение колебаний ω_0, мм/с^2	Предельная скорость колебаний υ_0, мм/с
	для частот от 1 до 10 Гц	для частот от 1 до 100 Гц
Не ощутимы	10	0,16
Слабо ощутимы	40	0,64
Хорошо ощутимы	125	2
Сильно ощутимы (мешают)	400	6,4
Вредны при длительном воздействии	1000	16
Безусловно вредны	Более 1000	Более 16
Примечание — Субъективная оценка колебаний при частотах более 5 Гц во многих случаях позволяет подтвердить или исключить в зависимости от назначения помещений, в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566—96 (таблицы 3—10), необходимость инструментального обследования колебаний.		

5.13 Амплитуды колебаний конструкций, имеющих оштукатуренные поверхности, не должны превышать 0,6 мм.

5.14 В тех случаях, когда колебания конструкции вызваны одновременным действием нескольких гармонических нагрузок с разными частотами, проверку перемещений следует проводить раздельно для тех частот, которые отличаются более чем вдвое. Если отношение частот различных колебаний менее двух, то при гармоническом возбуждении в качестве амплитуды перемещений допускается принимать суммарную амплитуду всех составляющих колебаний $z_0 = z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + z_0^{(3)} + \ldots$, а среднюю круговую частоту $\omega_{ср}$ следует вычислять по формулам:

$$\omega_{ср} = \frac{z_0^{(1)}\omega_1 + z_0^{(2)}\omega_2 + \ldots,}{z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + \ldots,} \quad \text{при } \bar{\omega} \geq 20\pi, \tag{5.6}$$

$$\omega_{ср} = \sqrt{\frac{z_0^{(1)}\omega_1^2 + z_0^{(2)}\omega_2^2 + \ldots}{z_0^{(1)} + z_0^{(2)} + \ldots}} \quad \text{при } \bar{\omega} < 20\pi, \tag{5.7}$$

где $\bar{\omega} = \omega_n$ — круговая частота того колебания, для которого величина $z_0^{(n)}\omega_n$ (при $\bar{\omega} \geq 20\pi$) или $z_0^{(n)}\omega_n^2$ (при $\bar{\omega} < 20\pi$) имеет наибольшее значение.

При периодической нагрузке проверку перемещений следует проводить как для гармонических колебаний, при этом в качестве амплитуды перемещений необходимо принимать наибольшее перемещение, а частоту следует определять по формулам (5.6) или (5.7), где $z_0^{(n)}$ и ω_n — амплитуды и круговые частоты составляющих гармоник.

При импульсном возбуждении колебаний конструкций с разными собственными частотами p_1 и p_2, отличающихся менее чем вдвое, в качестве средней амплитуды перемещений допускается принимать:

$$\begin{aligned} z_0 &= \frac{z_1 p_1 + z_2 p_2}{\bar{p}} \quad \text{при } \bar{p} \geq 20\pi; \\ z_0 &= \frac{z_1 p_1^2 + z_2 p_2^2}{\bar{p}^2} \quad \text{при } \bar{p} < 20\pi, \end{aligned} \tag{5.8}$$

где z_1 — наибольшее перемещение, соответствующее форме колебаний с круговой частотой p_1;

z_2 — наибольшее перемещение, соответствующее форме колебаний с круговой частотой p_2;

$\bar{p}$ — круговая частота того колебания, для которого величина $z_n p_n$ (при $p_n \geq 20\pi$) или $z_n p_n^2$ (при $p_n < 20\pi$) имеет наибольшее значение, а в качестве круговой частоты принимается величина $\bar{p}$.

При отношении частот составляющих колебаний более двух проверку перемещений следует проводить раздельно для каждого колебания.

5.15 При совместном действии гармонической и импульсной нагрузок величину наибольшего перемещения необходимо определять как сумму амплитуды гармонического колебания z_0' и наибольшего перемещения z_0'', вызванного импульсивной нагрузкой.

5.16 При пространственных колебаниях элементов конструкций, например при горизонтальных колебаниях в двух взаимно перпендикулярных направлениях или одновременных горизонтальных и вертикальных колебаниях, амплитуду перемещений вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} z_0 &= \sqrt{z_1^2 + z_2^2}, \\ z_0 &= \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2}, \end{aligned} \tag{5.9}$$

где z_1, z_2, z_3 — составляющие амплитуды перемещений в направлении ортогональных осей координат.

5.17 Проверку воздействия колебаний конструкций на людей не проводят:

а) для машин всех категорий динамичности, когда не требуется длительное присутствие людей;

б) машин категории динамичности II, устанавливаемых на виброизоляторы;

в) машин и установок категории динамичности II второй и третьей групп по частотности, создающих горизонтальные нагрузки.

Кроме того, проверку физиологического воздействия колебаний на людей не проводят для машин и установок, создающих эпизодические нагрузки малой продолжительности (непродолжительные периодические нагрузки, одиночные импульсы или удары, нагрузки при переходных режимах и т. п.).

5.18 Если частота гармонического воздействия ω больше частоты, соответствующей верхней границе первой частотной зоны конструкции, то необходимо провести дополнительный расчет на прочность при прохождении через резонанс конструкции во время пуска и остановки машин.

Проверку воздействия колебаний на людей при переходе через резонанс проводить не следует. Расчет на выносливость при переходе через резонанс необходимо проводить только для машин, имеющих более пяти пусков и остановок в сутки. Расчет следует проводить на тот режим, при котором скорость прохождения через резонанс наименьшая. При близких скоростях расчетным считается остановочный режим. В расчетах по приближенным расчетным схемам допускается ограничиваться высшей из собственных частот, для которых имеет место прохождение через резонанс.

Расчет конструкции при переходе через собственный резонанс по приближенным расчетным схемам допускается проводить на гармоническое воздействие с круговой частотой p_r (где p_r — высшая из собственных частот) и амплитудой P, равной

$$P = R\frac{p_r^2}{\omega^2}\bar{\mu}, \tag{5.10}$$

где R — амплитуда гармонической нагрузки в рабочем режиме;

ω — круговая частота вынужденных колебаний в рабочем режиме;

$\bar{\mu}$ — коэффициент передачи, определяемый по графикам (см. рисунок 4.3) для круговой частоты p_r или по формуле

$$\bar{\mu} = \sqrt{\left[\frac{f_1}{m_1} \mp \frac{1}{2\left(1+\frac{\bar{\omega}}{p_r}\right)}\right]^2 + \left[\frac{f_2}{m_1}\right]^2}, \tag{5.11}$$

$$q = \frac{p_r}{\sqrt{\varepsilon}},$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{1}{q^2} + \gamma^2}, \tag{5.12}$$

$$\bar{\omega} = p_r\left[1 \pm \frac{2{,}171}{(1+0{,}14\gamma q)^2 q}\right],$$

где γ — коэффициент неупругого сопротивления материала конструкции;

f_1 и f_2 — параметры, определяемые по графикам (см. рисунок 4.4).

В формулах (5.11), (5.12) знак плюс относится к пусковому режиму, минус — к остановочному.

Если амплитуда R нормативной инерционной силы машины или установки не зависит от частоты вынужденных колебаний и не изменяется при пуске и остановке, то расчет конструкций при переходе через резонанс следует производить на гармоническую нагрузку с амплитудой $p = \bar{\mu} R\gamma$ и круговой частотой p_r.

Расчет конструкции, поддерживающей виброизолированную установку, при переходе через резонанс установки, то есть при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний установки в переходном режиме, следует проводить на гармоническую нагрузку, параметры которой определяют согласно 4.5.

5.19 Проверку прочности и выносливости конструкций, поддерживающих невиброизолированные машины и установки, при переходе через резонанс допускается не проводить:

а) если рабочий режим машины или установки является резонансным для поддерживающей конструкции, то есть частота вынужденных колебаний в рабочем режиме попадает в одну из частотных зон конструкции;

б) отношение $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{p_r}$ превосходит 0,5.

5.20 Проверку прочности и выносливости конструкций, поддерживающих виброизолированные установки, при переходе через резонанс самой установки допускается не проводить, если удовлетворяется требование $1/\gamma^2 \geq 0{,}15$, а также если отношение $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{p_r}$ превосходит 0,5.

5.21 Динамический расчет необходимо проводить в следующей последовательности:

1) определяют и классифицируют динамические нагрузки согласно положениям раздела 4;

2) определяют частоты и формы собственных колебаний конструкций согласно положениям раздела 4;

3) определяют амплитудные значения динамических перемещений согласно указаниям раздела 5 и проверяют выполнение физиологических требований по ограничению колебаний;

4) определяют максимальные значения внутренних усилий в конструкциях (изгибающих моментов, поперечных сил) и проводят расчет на прочность и выносливость согласно положениям раздела 5 и приложения Б.

При проведении динамических расчетов в программных комплексах, в которых используют другую последовательность расчета (например, опущено определение собственных частот и др.), алгоритм должен учитывать все особенности расчета, связанные с расширением частотных зон, определением категории динамической нагрузки и т. д.

6 Расчетные схемы

6.1 Динамический расчет несущих конструкций промышленных зданий и сооружений следует проводить по приближенным или уточненным расчетным схемам. При жестких требованиях к уровню колебаний следует применять уточненные расчетные схемы, используя при расчетах существующие программные комплексы.

6.2 При расчетах зданий и сооружений, выполненных из сборных железобетонных конструкций, необходимо учитывать возможность изменения расчетной схемы конструкций, вызванную влиянием сухого трения. При малых колебаниях, когда силы сухого трения не преодолеваются, работа сборных конструкций приближается к работе монолитных. В связи с этим соединения сборных конструкций следует принимать жесткими при проверке:

а) перемещений, скоростей и ускорений конструкций и их соответствия требованиям санитарно-гигиенических норм, если допускаемые перемещения не превышают 0,1 мм;

б) прочности и выносливости конструкций, если наибольшие перемещения, вычисленные в результате предварительного расчета по схеме с жесткими соединениями, не превышают 0,1 мм.

Примечание — Если наибольшие перемещения превышают 0,1 мм, то расчет необходимо проводить по двум различным схемам: с учетом жесткости соединений вследствие сухого трения и без него.

6.3 В расчетах на вертикальные колебания при определении жесткости элементов сборных железобетонных перекрытий и железобетонных перекрытий по металлическим балкам следует принимать следующие моменты инерции поперечных сечений:

а) по схеме с жесткими соединениями вследствие сухого трения (см. 6.2) для железобетонных и металлических балок при уложенном по балкам сборном настиле и для железобетонных и металлических балок при уложенной по балкам монолитной железобетонной плите — момент инерции таврового сечения с шириной плиты, принимаемой равной расстоянию между осями балок, но не более половины пролета балки;

б) по схеме, не учитывающей сухое трение для железобетонных и металлических балок:

- при уложенном по балкам сборном настиле — момент инерции поперечного сечения балки;
- при уложенной по балкам монолитной железобетонной плите — сумма моментов инерции сечений балки и плиты, при этом расчетную ширину сечения плиты следует принимать равной расстоянию между осями балок, но не более половины пролета балок.

Для балок ребристого монолитного перекрытия необходимо принимать момент инерции монолитного таврового сечения с шириной полки, указанной в этом пункте; для балочных плит — момент инерции поперечного сечения плит.

Примечания

1 Если металлические балки перекрытия обетонированы железобетонной плитой поверху или понизу, то перекрытие следует рассматривать как ребристое монолитное.

2 Таким же образом следует определять моменты инерции железобетонных покрытий и других конструкций, имеющих аналогичные расчетные схемы.

При расчете крупнопанельных плит, плит безбалочных перекрытий и т. д. следует определять цилиндрическую жесткость плиты.

Если постамент под машину или установку монолитно связан с перекрытием, его следует учитывать при определении жесткости соответствующего элемента перекрытия.

6.4 Расчетные схемы при определении частот собственных горизонтальных колебаний промышленных зданий следует выбирать по возможности простыми с учетом факторов, которые существенно влияют на частоту. В частности, перекрытия зданий и площадок под машины при определении горизонтальной жесткости зданий и площадок в ряде случаев, указанных в Б.2.2 приложения Б, допускается считать недеформируемыми. Жесткости и массы лестничных клеток и пристроек, связанных с каркасом или стенами здания, следует учитывать.

6.5 При рассмотрении горизонтальных колебаний каркасных зданий с навесным панельным ограждением необходимо учитывать влияние ограждения на жесткость здания.

Жесткость зданий, в которых не предусматривается плотное соединение панелей с колоннами каркаса, необходимо определять как суммарную жесткость каркаса и образованного панельным ограждением упругого диска, работающего на сдвиг при проверке:

а) горизонтальных перемещений, скоростей и ускорений на соответствие требованиям СН 2.2.4/2.1.8.566, если допускаемые перемещения не превышают 0,1 мм;

б) прочности и выносливости конструкций, если наибольшие горизонтальные перемещения перекрытий, вычисленные в результате предварительного расчета по указанной схеме, не превышают 0,1 мм.

В остальных случаях расчет зданий следует проводить по двум схемам — с учетом только жесткости каркаса и с учетом жесткости каркаса и ограждения, причем во внимание необходимо принимать наиболее невыгодный вариант.

Примечания

1 Участки стен со сплошным панельным ограждением сверху донизу при креплении панелей непосредственно к колоннам каркаса следует рассматривать как упругие диски, жестко связанные с каркасом.

2 При сплошном ленточном остеклении жесткость ограждения допускается не учитывать.

7 Частоты и формы собственных колебаний несущих конструкций

7.1 При использовании метода разложения по формам собственных колебаний определение частот и форм собственных колебаний является необходимым этапом динамического расчета. В расчетах конструкций на действие периодических нагрузок независимо от принятого метода допускается определять частоты собственных колебаний для того, чтобы оценить возможность возбуждения резонансных режимов, уровни перемещений и усилий и предложить мероприятия, позволяющие изменить режим колебаний и понизить их уровни.

7.2 При определении веса элементов в расчетной схеме помимо собственного веса конструкций следует учитывать также вес машин, оборудования и материалов, жестко соединенных с несущими конструкциями. Характер распределения веса в расчетных схемах зависит от способа крепления машин и оборудования и фактической схемы передачи на конструкцию постоянных статических нагрузок. Случайные и кратковременно действующие статические нагрузки (нагрузки при скоплении людей в производственных помещениях, нагрузки от оборудования и материалов при проведении ремонтных работ и т. п.) при определении веса учитывать не следует.

При различных вариантах загружения конструкций (например, при отсутствии или наличии снега на покрытии, при большом изменении нагрузок, предусмотренном технологией производства, и т. д.) должны быть рассмотрены два варианта загружения, при которых значения масс максимальны и минимальны.

При определении частот собственных колебаний следует принимать нормативные значения постоянных нагрузок.

Массы виброизолированных машин и установок при определении частот собственных колебаний конструкций не следует учитывать.

7.3 При расчете на периодические нагрузки, которые не включают пиковые значения, характерные для импульсных воздействий, необходимо определять следующее число частот и форм собственных вертикальных колебаний несущих конструкций:

2 — для однопролетных балок;

4 — для однопролетных плит;

2N (N — число пролетов) — для неразрезных балок;

4N — для неразрезных плит;

5 — для ферм.

При проведении расчетов по приближенным расчетным схемам допускается определять не более m_i собственных частот, где m_i — номер наименьшей собственной частоты, превышающей частоту вынужденных колебаний. Если частота основного тона оказывается более частоты вынужденных колебаний, то последующие частоты и формы допускается не определять.

При расчете на импульсные нагрузки следует выбирать число собственных частот и форм:

- при определении перемещений:

3 — для однопролетных балок,

N + 1 — для неразрезных балок,

4 — для однопролетных плит;

- при определении изгибающих моментов:

5 — для однопролетных балок,

3N + 1 — для неразрезных балок,

5 — для однопролетных плит.

Примечания

1 При проведении расчетов по уточненным схемам в программных комплексах, а также в отдельных случаях для машин и установок третьей и четвертой групп определяют большее число частот и форм собственных колебаний.

2 При использовании метода разложения по формам собственных колебаний окончательное число определяемых и учитываемых форм колебаний допускается корректировать в процессе расчета в зависимости от густоты спектра частот, определяемых параметров колебаний и характера приложения нагрузки.

При более густом спектре следует определять большее число частот и форм собственных колебаний. При вычислении наибольших значений внутренних усилий требуется учитывать большее число форм собственных колебаний, чем при вычислении перемещений для того, чтобы получить одинаковую точность. Решение вопроса о числе учитываемых форм собственных колебаний может быть принято на основе анализа сходимости рядов для соответствующих расчетных величин.

7.4 Если расположенные на перекрытиях здания машины развивают динамические силы в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях, то при расчете на периодические нагрузки (см. 7.3) следует определять три первые частоты и формы собственных поступательных колебаний здания в направлении каждой из его осей (вдоль и поперек здания) и две первые частоты и формы вращательных колебаний здания.

7.5 При расчете на гармонические и периодические нагрузки необходимо учитывать возможную погрешность в определении собственных частот, а также возможность изменения собственных частот конструкций в процессе эксплуатации здания или сооружения. Эта погрешность учитывается вводом частотных зон, внутри которых находится расчетное значение собственной частоты. Границы частотных зон вычисляют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} p'_r &= (1-\varepsilon_0)p_r^0;\ p''_r = (1+\varepsilon_0)p_r^0 \\ n'_r &= (1-\varepsilon_0)n_r^0;\ n''_r = (1+\varepsilon_0)n_r^0 \end{aligned}\right\}, \qquad (7.1)$$

где p_r^0, n_r^0 — r-я частота собственных колебаний элемента (круговая, Гц), определенная в результате расчета;

p'_r, n'_r — левая граница частотной зоны;

p''_r, n''_r — правая граница частотной зоны;

ε_0 — погрешность в определении частот. Значение ε_0 для различных расчетных схем следует принимать равным 0,25 — при типовых расчетах перекрытий; 0,3 — при вычислении частот горизонтальных колебаний зданий.

7.6 При проведении расчета на гармонические нагрузки с помощью методов, не связанных с определением частот собственных колебаний, возможную погрешность в соотношении частот собственных и вынужденных колебаний следует учитывать при изменении с достаточно малым шагом частоты вынужденных колебаний в пределах от $(1 - \varepsilon_0)\omega$ до $(1 + \varepsilon_0)\omega$. Частоту собственных колебаний принимают равной частоте вынужденных колебаний, при которой перемещения имеют экстремальные значения.

Расчет следует производить при частотах вынужденных колебаний, равных всем тем собственным частотам, которые попадают в интервал от $(1 - \varepsilon_0)\omega$ до $(1 + \varepsilon_0)\omega$.

7.7 Если частота гармонической нагрузки, создаваемой машиной или установкой, задается с указанием некоторого возможного отклонения ε' от ее среднего значения ω', то есть $\omega = \omega'(1 \pm \varepsilon')$, то за

частоту вынужденных колебаний следует принимать среднее значение ω', а при определении границ частотных зон вместо погрешности ε_0 вводить погрешность $\varepsilon'' = \varepsilon_0 + \varepsilon'$.

7.8 При расчете на гармонические нагрузки допускается, что частоты собственных колебаний конструкции могут иметь любое значение в пределах расширенных частотных зон, полученных с учетом возможной погрешности в определении частот. Поэтому при гармонической нагрузке частоты собственных колебаний необходимо определять следующим образом:

а) если частота вынужденных колебаний ω попадает в r-ю частотную зону (см. рисунок 7.1, *а*), то

$$\left.\begin{aligned} p_s &= \omega \\ n_s &= n_0 \end{aligned}\right\} \text{ при } s = r, \tag{7.2}$$

$$\left.\begin{aligned} p_s &= p_s^0 \frac{\omega}{p_r^0} \\ n_s &= n_s^0 \frac{n_0}{n_r^0} \end{aligned}\right\} \text{ при } s \neq r, \tag{7.3}$$

то есть собственную частоту r-й частотной зоны следует принимать равной частоте вынужденных колебаний; остальные частоты принимать пропорционально;

б) если частота вынужденных колебаний ω попадает в межрезонансную зону (см. рисунок 7.1, *б*) и находится между частотами p_n'' и p'_{n+1}, то $p_s = p'_{n+1}$, если ω находится ближе к p'_{n+1}, чем к p_n''; $p_s = p_n''$ — если ω находится ближе к p_n'', чем к p'_{n+1}.

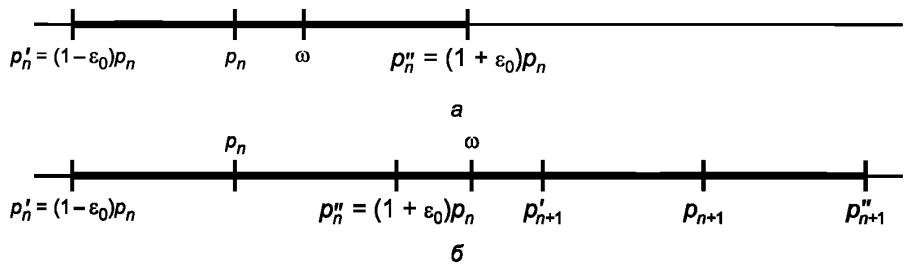


Рисунок 7.1 — Определение частот собственных колебаний

Следует принимать верхние или нижние значения частот в зависимости от того, ближе к какому значению расположена частота возмущающей нагрузки.

Примечание — В расчетах в программных комплексах или по уточненным расчетным схемам, а также при нагрузках категории динамичности IV следует проверять оба расчетных случая перечисления б), то есть когда все частоты имеют нижние или верхние возможные значения.

При периодической нагрузке частоты собственных колебаний также следует определять по формулам (7.2)—(7.3), при этом в качестве $\omega(n_0)$ следует принимать частоту преобладающей гармоники.

При расчете на переход через резонанс для частот собственных колебаний следует принимать их наибольшие значения, соответствующие верхним границам частотных зон, то есть $p_r = p_r''$, $n_r = n_r''$.

8 Перемещения и внутренние усилия

8.1 Динамические перемещения несущих конструкций следует определять по нормативным значениям динамических нагрузок (см. 4.4.5). Динамические усилия (изгибающие и крутящие моменты, продольные и поперечные силы) следует определять по расчетным значениям динамических нагрузок (см. 4.4.13).

8.2 При определении динамических перемещений и внутренних усилий в элементах перекрытий от внешней нагрузки следует учитывать вертикальные силы и действующие в вертикальной плоскости моменты, а при определении динамических перемещений и внутренних усилий стоек и стен при горизонтальных колебаниях — силы и моменты, действующие в горизонтальной плоскости.

8.3 При рассмотрении вертикальных колебаний определению подлежат наибольшие значения перемещения и изгибающего момента в пролетах, а также изгибающего момента и поперечной силы на опорах.

Примечание — При определении перемещений элементов конструкций, опирающихся на другие податливые элементы, необходимо учитывать перемещения опор путем увеличения перемещений элемента на полусумму перемещений опор.

8.4 При совместном действии нескольких гармонических нагрузок от разных машин амплитуды перемещений и внутренних усилий необходимо определять как сумму амплитуд от воздействия каждой нагрузки в отдельности. При расчете конструкций на несколько одновременно действующих независимых машин с импульсными или ударными нагрузками наибольшие значения перемещений и внутренних усилий одного знака, вызванных каждым импульсом (ударом), следует суммировать.

Если число машин или установок, создающих периодические нагрузки (в том числе импульсного или ударного характера), превышает 10, а частоты преобладающих гармоник одинаковы или близки, то при определении наибольших перемещений и внутренних усилий от совместного действия машин следует учитывать фазовые соотношения в соответствии с 4.4.14.

8.5 Если при расчете конструкции на периодическое воздействие в разложении нагрузки в ряд Фурье сохраняются два или три члена ряда, то для определения наибольших перемещений и внутренних усилий допускается определять наибольшие перемещения и внутренние усилия как сумму амплитуд отдельных гармоник.

8.6 Определение амплитуд перемещений и внутренних усилий конструкций при горизонтальных поступательных и вращательных колебаниях зданий, вызванных работой большого числа машин с периодическими нагрузками, следует проводить с учетом указаний 4.4.14. При этом коэффициент синфазности λ следует определять для полного числа машин в здании. Расчет необходимо проводить на действие машин каждого этажа раздельно, а затем амплитуды перемещений и усилий следует складывать.

При проверке влияния колебаний на людей, вызванных действием большого числа машин, допускаемые амплитуды перемещений следует умножать на дополнительный коэффициент $\frac{\sqrt{j}}{3}$, учитывающий более высокую вероятность совпадения фаз машин при деформационном расчете. Коэффициент $\frac{\sqrt{j}}{3}$, вводится при числе машин $j \geq 10$.

Приложение А

Способы уменьшения колебаний несущих конструкций

А.1 В тех случаях, когда установленные расчетом колебания конструкций не удовлетворяют требованиям, обеспечивающим их несущую способность, или физиологическим требованиям по ограничению уровня вибраций, следует применять указанные в настоящем подразделе способы уменьшения колебаний несущих конструкций.

При выборе способа в каждом конкретном случае следует руководствоваться принципами целесообразности, эффективности и экономичности его применения.

Ожидаемые результаты осуществления того или иного мероприятия следует проверять повторным динамическим расчетом конструкций, то есть определением максимальных перемещений и внутренних усилий в измененных условиях.

Примечание — Рекомендации по снижению уровней колебаний при периодической нагрузке приведены в подразделах А.2, А.3.

А.2 К основным методам уменьшения колебаний несущих конструкций, вызванных гармоническими (периодическими) нагрузками, относятся:

а) изменение соотношения между частотой вынужденных колебаний и частотами собственных колебаний конструкции путем изменения жесткости, массы или схемы конструкции, а также путем изменения частоты вынужденных колебаний;

б) изменение расположения и способа крепления машин и установок на несущих конструкциях, передача динамических нагрузок на отдельные фундаменты, колонны, разгрузочные балки и т. п.;

в) устройство виброизоляции;

г) применение динамических и ударных гасителей колебаний, увеличение демпфирования колебаний, устройство жестких и нежестких ограничителей;

д) уравновешивание и балансировка машин, создание эксплуатационных условий, препятствующих разбалансировке и образованию случайных дебалансов; применение специальных устройств, обеспечивающих работу нескольких машин попарно в противофазе.

А.2.1 Изменение массы и жесткости конструкции

А.2.1.1 Если частота вынужденных колебаний ω близка к нижней границе какой-либо частотной зоны и несколько ниже, то колебания конструкции следует уменьшить, увеличив ее жесткость или уменьшив массу. Увеличения жесткости конструкции следует достигать путем уменьшения пролетов, увеличения поперечных сечений или изменения ее конструктивной схемы (введение жестких узлов, превращение разрезных конструкций в неразрезные и т. д.). Допускаются также устройство под машину жесткого, но легкого постамента, постановка дополнительных связей, устройство специальных портальных рам и т. п.

А.2.1.2 Если частота вынужденных колебаний ω близка к верхней границе какой-либо частотной зоны резонансных колебаний и несколько выше, то колебания конструкций следует уменьшать, увеличив ее массу или снизив жесткость. Снижения жесткости конструкции следует достигать путем увеличения пролета или уменьшения поперечного сечения, а также с помощью изменения конструктивной схемы.

Увеличение массы конструкции посредством устройства массивного постамента, не связанного жестко с конструкцией, или увеличение поперечного сечения за счет ввода дополнительных нежестких слоев, надбетонок и т. п. допускается лишь в необходимых случаях для машин и установок категорий динамичности III и IV.

Уменьшение жесткости конструкций и увеличение их массы допускается осуществлять лишь в тех случаях, когда динамические перемещения составляют существенную часть статического прогиба, значение которого, в свою очередь, не менее чем на 20—30 % ниже предельного.

А.2.2 Изменение расположения и крепления машин и установок

А.2.2.1 Вертикальные колебания конструкций необходимо уменьшать, расположив машины и установки, создающие вертикальные гармонические нагрузки, вблизи опор или узловых точек резонирующих форм собственных колебаний, а машины и установки, создающие горизонтальные динамические нагрузки, — в серединах пролетов конструкций или вблизи пучностей резонирующих форм колебаний.

А.2.2.2 Горизонтальные колебания зданий и сооружений необходимо уменьшать, расположив машины и установки, создающие горизонтальные гармонические нагрузки, таким образом, чтобы динамические усилия воздействовали в направлении, для которого либо жесткость здания максимальна, либо частоты собственных колебаний заметно отличаются от частоты возбуждения.

А.2.2.3 В целях борьбы с колебаниями несущих конструкций промышленных зданий и сооружений следует применять различные конструктивные мероприятия, связанные с размещением машин и установок, создающих динамические нагрузки, на специальных опорных элементах, не соединенных с отдельными несущими конструкциям (например, перекрытиями) или со всем каркасом в целом. В качестве таких опорных элементов следует

применять разгрузочные балки, соединенные со стойками каркаса или главными балками перекрытия, отдельные фундаменты, не соединенные с фундаментом здания или сооружения, опорные рамы на самостоятельных фундаментах и т. п.

А.2.3 Виброизоляция машин и установок

Виброизоляция является одним из наиболее эффективных методов борьбы с колебаниями конструкций, возбуждаемых периодическими (гармоническими) нагрузками от машин и установок, размещенных в промышленных зданиях и сооружениях.

Виброизоляцию следует применять в целях уменьшения динамических нагрузок, передаваемых машиной или установкой на несущие конструкции (активная виброизоляция), и в целях защиты машин от колебаний несущих конструкций, на которых они находятся (пассивная виброизоляция).

Виброизоляцию следует применять для машин и установок второй и третьей групп по частотности.

Машины и установки категории динамичности IV, размещаемые в промышленных зданиях, следует устанавливать на виброизоляторы независимо от результатов динамического расчета несущих конструкций.

А.2.4 Применение динамических и ударных гасителей

Динамические и ударные гасители колебаний следует применять в тех случаях, когда устройство виброизоляции или осуществление других мер уменьшения колебаний, не представляется возможным.

Динамические гасители необходимо применять для уменьшения колебаний конструкций при стабильной частоте вынужденных колебаний. Особенно эффективно применение этих гасителей в резонансных режимах. Собственную частоту динамического гасителя следует настраивать на частоту вынужденных колебаний конструкции.

Конструкция динамического гасителя должна иметь устройства, обеспечивающие его настройку на частоту вынужденных колебаний, регулировку и надежное фиксирование частоты гасителя в процессе эксплуатации.

Ударный гаситель колебаний изготовляется в виде свободной или упруго соединенной массы с конструкцией, ударяющей по ней при колебаниях в определенном месте (бойке).

Расчет и проектирование динамических и ударных гасителей осуществляется научно-исследовательскими и конструкторскими организациями.

А.2.5 Уравновешивание, балансировка и изменение частот возмущающей нагрузки

А.2.5.1 Колебания несущих конструкций, вызываемые работой некоторых машин и установок с возвратно-поступательным движением или вращением масс с большим эксцентриситетом, следует уменьшать применением способов уравновешивания инерционных сил, например спариванием кривошипно-шатунных механизмов или уравновешиванием вращающейся массы. Возможно также применение специальных устройств, поддерживающих работу машин и установок в противофазе.

А.2.5.2 Колебания несущих конструкций, вызываемые работой машин и установок с номинально уравновешенными вращающимися массами, следует уменьшать с помощью статической и динамической балансировок в том случае, если таковые не проводились или если машина разбалансировалась в процессе эксплуатации.

А.2.5.3 В тех случаях, когда имеется возможность изменять в некоторых пределах число оборотов машины или установки, колебания конструкций следует уменьшать:

а) понижением числа оборотов машины, если частота вынужденных колебаний ω близка к нижней границе одной из частотных зон конструкции (несколько ниже);

б) повышением числа оборотов машины, если частота вынужденных колебаний ω близка к верхней границе одной из частотных зон конструкции (несколько выше).

А.2.5.4 Колебания несущих конструкций при пуске и остановке виброизолированных и невиброизолированных машин вследствие перехода через резонанс следует уменьшать, увеличив скорости нарастания или убывания числа оборотов.

Уменьшение колебаний несущих конструкций в режимах пуска и остановки виброизолированных машин следует осуществлять включением дополнительных диссипативных элементов при прохождении резонансной зоны, устройством ограничителей и т. п.

А.3 К основным способам, позволяющим снижать колебания несущих конструкций, вызванных ударными или импульсными нагрузками, относятся:

а) увеличение массы конструкции;

б) увеличение жесткости конструкции;

в) одновременное увеличение массы и жесткости конструкции;

г) изменение мест приложения импульсов или ударов на перекрытии;

д) виброизоляция установок с импульсными нагрузками;

е) изменение жесткости, массы и схемы конструкции;

ж) уровень колебаний фундаментов и элементов конструкций, возбуждаемый внешними источниками и передающийся через грунт от оборудования в промышленных зонах, движущегося транспорта и т. п., следует уменьшать:

- снижением уровней динамических воздействий от оборудования одним из указанных выше способов;
- созданием внешних преград.

А.3.1 Увеличение массы конструкции

С увеличением массы конструкции с помощью присоединения дополнительной массы при постоянстве прочих независимых параметров (размеров поперечных сечений, пролета, импульса) переменные перемещения и изгибающие моменты уменьшаются обратно пропорционально квадратному корню из полной массы конструкции, приведенной к равномерно распределенной в пролете, или к сосредоточенной в точке приложения импульса (удара).

Способ применим в случаях, когда переменные перемещения и изгибающие моменты, вызываемые импульсной нагрузкой, составляют существенную долю соответственно от прогиба и момента, вызываемых статической нагрузкой (собственным весом и полезными грузами). В противном случае даже при значительном уменьшении колебаний этим способом условие прочности может не удовлетворяться вследствие повышения статических напряжений с увеличением постоянной нагрузки на конструкцию.

Примечание — При выполнении этого условия в некоторых случаях уровни колебаний (в том числе скоростей и ускорений) могут быть снижены при введении в систему виброизоляции дополнительной массы. Расчетная схема системы в этом случае — система с двумя степенями свободы.

Способ эффективен при применении к конструкциям, находящимся под действием импульсов категории динамичности IV, а также к конструкциям, характеризующимся небольшими статическими напряжениями (например, к перегородкам, подверженным действию импульсов или ударов).

А.3.2 Увеличение жесткости конструкции

Уменьшение пролета конструкции при постоянстве прочих независимых параметров (масс, поперечных сечений, импульса) приводит к уменьшению перемещения (пропорционально квадрату пролета), а переменные изгибающие моменты не меняются.

Уменьшение пролета возможно в случаях, когда требуется резко снизить только переменные перемещения конструкции.

Увеличение момента инерции поперечных сечений конструкции при постоянстве прочих независимых параметров (масс, продолжительности импульса) приводит к уменьшению перемещения (обратно пропорционально квадратному корню из момента инерции), а переменные изгибающие моменты увеличиваются пропорционально той же величине.

Способ применим в случаях, когда амплитуды колебаний (перемещений) ограничены четким требованием, а в конструкции имеются неиспользованные запасы прочности.

А.3.3 Одновременное увеличение массы и жесткости конструкции

Одновременным увеличением массы и жесткости конструкции следует обеспечивать (см. А.3.1, А.3.2) существенное уменьшение переменных перемещений при некотором уменьшении суммарных изгибающих моментов (от статических и импульсных нагрузок).

А.3.4 Изменение мест приложения импульсов или ударов на перекрытии

Переменные перемещения и изгибающие моменты в перекрытии следует уменьшать расположением установки:

- с импульсным воздействием на основание на тех элементах перекрытия, которые имеют наибольшую массу;
- порождающей импульсы сил в вертикальном направлении, вблизи опор конструкций;
- порождающей импульсы моментов, действующих в плоскости изгиба элемента, в середине пролета элемента.

А.3.5 Виброизоляция установок с импульсными нагрузками

А.3.5.1 Наиболее эффективным способом уменьшения скоростей и ускорений колебаний перекрытия, а в определенных случаях и изгибающих моментов в перекрытии, вызванных действием импульсных нагрузок, является виброизоляция установок, порождающих эти нагрузки, то есть передача импульсов или ударов на достаточно большие массы, опирающиеся на перекрытие через гибкие элементы (пружины, резиновые опоры и т. п.) и обладающие низкой частотой собственных колебаний в сравнении с перекрытием. Такими массами могут служить в случае установок, порождающих импульсы, либо сами установки, если они достаточно массивны, либо установки с присоединенным к ним постаментом; а в случае ударов свободно летящих тел — массивные постаменты. Расчет и проектирование виброизоляции осуществляют в соответствии с нормативными документами по виброзащите.

А.3.5.2 Эффективность виброизоляции установок с импульсными нагрузками тем выше, чем больше период собственных колебаний виброизолированной установки T_B и чем менее продолжительность действия импульса в сравнении с основным периодом собственных колебаний перекрытия T_1. Эффективность виброизоляции допускается оценивать следующим образом:

а) с точки зрения влияния колебаний на людей — отношением ускорений или скоростей колебаний перекрытия, возникающих под действием невиброизолированной и виброизолированной установки с импульсной нагрузкой, вычисляемым по формуле

$$p_1 = T_B^2/T_1^2; \qquad (А.1)$$

б) с точки зрения прочности перекрытия — отношением амплитуд колебаний перекрытия, возникающих под действием невиброизолированной и виброизолированной установки с импульсной нагрузкой, вычисляемым по приближенной формуле

$$p_2 = \frac{T_B}{T_1} \cdot \frac{\overline{\varepsilon}\left(\frac{\tau}{T_1}\right)}{\overline{\varepsilon}\left(\frac{\tau}{T_B}\right)} \cdot \frac{1}{\chi\left(\frac{T_B}{2T_1}\right)}. \qquad (A.2)$$

Коэффициенты $\overline{\varepsilon}$ и χ принимают в соответствии с таблицей 4.3.

А.3.5.3 Из формул (А.1) и (А.2) следует, что виброизоляция установок с импульсными нагрузками особенно эффективна в тех случаях, когда требуется резко уменьшить скорость или ускорение колебаний перекрытия и снизить их вредное влияния на людей. В тех же случаях, когда требуется снизить переменные напряжения, виброизоляция оказывается эффективной только при действии импульсных нагрузок малой продолжительности, для которых коэффициент $\overline{\varepsilon}$ (τ/T_1) мал в сравнении с единицей.

Приложение Б

Общие положения динамического расчета строительных конструкций

Б.1 Динамические нагрузки

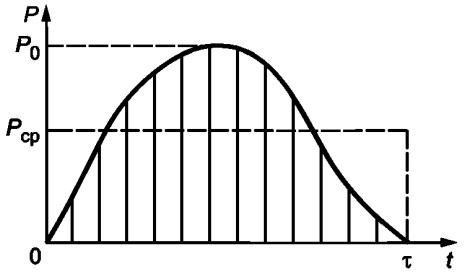
Б.1.1 Динамический расчет строительных конструкций, для которых динамические нагрузки являются основными, может влиять на выбор конструктивной схемы и размеры поперечных сечений, если указанные в 4.1.13 специальные мероприятия по уменьшению колебаний оказываются недостаточно эффективными, экономически нецелесообразными или технически невыполнимыми.

Б.1.2 Динамические нагрузки, развиваемые большинством машин непрерывного действия, изменяются по гармоническому закону и только в отдельных случаях являются некоторыми периодическими (негармоническими) функциями времени. Эти функции разлагают в тригонометрические ряды, в которых для целей динамического расчета используются первые, а иногда и высшие гармоники. Динамические нагрузки вычисляют как геометрические суммы сил и моментов сил инерции, движущихся частей, ускорение которых определяется кинематикой механизма машины.

Б.1.3 Если машина имеет номинально уравновешенные, а фактически неуравновешенные движущиеся части, то динамическая нагрузка зависит от значения эксцентриситетов вращающихся частей или от разности весов возвратно-поступательно движущихся частей, номинально уравновешивающих друг друга.

Б.1.4 Возмущающая сила R от ротационных машин, амплитуда которой определяется по формуле (4.5), постоянна по величине и вращается с угловой скоростью ω в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр тяжести вращающихся частей. Она может быть разложена по любым двум неподвижным взаимно перпендикулярным осям, расположенным в этой плоскости и имеющим начало координат на оси вращения, на составляющие $R\sin\omega t$ и $R\cos\omega t$.

Б.1.5 Импульсная нагрузка действует на конструкцию в течение относительно малого промежутка времени τ (см. рисунок Б.1), достигая при этом достаточно больших значений, ее импульс (измеряемый на рисунке Б.1 в выбранном масштабе заштрихованной площадью) не является малой величиной. Продолжительность импульса считается достаточно малой, если $\tau \le 2{,}5T_1$, где T_1 — основной период собственных колебаний конструкции, на которую действует импульсная нагрузка.



P_0, $P_{ср}$ — максимальное и среднее значения импульсной нагрузки соответственно

Рисунок Б.1 — График кратковременной силы

Б.1.6 Кратковременный импульс определяют тремя характеристиками (см. рисунок Б.1):

- величиной импульса, вычисляемой по формуле

$$S = \int_0^{\tau} P(t)dt = P_{ср}\tau; \qquad (Б.1)$$

- формой импульса, вычисляемой по формуле

$$f(t) = \frac{P(t)}{P_0}, \qquad (Б.2)$$

- и продолжительностью действия τ.

Мгновенный импульс определяют одной характеристикой — величиной импульса.

Примечания

1 Размерность импульса определяют произведением размерности усилия на время. Различают: сосредоточенный импульс силы, кНс; импульс сил, распределенных по длине, кНс/м, или площади, кНс/м^2; сосредоточенный импульс момента, кНс · м.

2 Если известны наибольшее значение силы и продолжительность ее действия, но неизвестна форма импульса, следует принимать в запас прочности и жесткости прямоугольную форму импульса.

3 Если для кратковременного импульса известна только его величина S, а продолжительность его действия τ не поддается даже грубой оценке, допускается в запас прочности и жесткости принимать ее равной 0,001 с для обычных эксплуатационных нагрузок.

Б.1.7 Перемещения и внутренние усилия в конструкции, вызванные действием кратковременного импульса, зависят от величины импульса S, продолжительности действия τ и формы $f(t)$.

Перемещения и внутренние усилия в конструкции, вызванные действием мгновенного импульса, зависят только от величины импульса.

Примечание — Перемещения и внутренние усилия в конструкции при действии мгновенного импульса больше, чем при действии кратковременного импульса той же величины (при любой его форме).

Б.2 Расчет зданий на динамические воздействия

Б.2.1 Расчет по приближенным расчетным схемам позволяет выявить основные составляющие (частоты, формы), определяющие характер и уровни колебаний, и определить конструктивные решения. В этом случае конструкции здания или сооружения следует расчленять на отдельные элементы (балки, плиты, рамы и т. д.), а динамические нагрузки с одного элемента на другой следует передавать по законам статики или путем загружения динамическими реакциями. При этом влияние различных второстепенных факторов не учитывают, а вертикальные и горизонтальные колебания рассматривают раздельно.

В тех случаях, когда требуется уточнить напряженно-деформированное состояние отдельных фрагментов или элементов конструкций, необходимо воспользоваться программными комплексами и приближенными расчетными схемами.

При проведении расчета по уточненным расчетным схемам, в частности по расчетным комплексам, основанным на методах конечных элементов (МКЭ), должны быть максимально учтены особенности работы конструкций (влияние пространственности, жесткости узлов, заполнения перегородок и стен, податливости опор и основания и т. д.).

Б.2.2 В качестве приближенной расчетной схемы каркасного здания при поступательных горизонтальных колебаниях следует принимать эквивалентную плоскую раму, массы и жесткости элементов которой равны суммарным массам и суммарным жесткостям соответствующих элементов здания в направлениях колебаний (поперечном или продольном).

Поскольку массы вертикальных элементов здания (колонн, стен, перегородок) обычно значительно меньше масс горизонтальных элементов (перекрытий и покрытий), то допускается сосредоточивать массы в уровне перекрытий и покрытия, распределяя массы вертикальных элементов поровну между верхним и нижним перекрытиями. При этом вертикальные перемещения масс допускается не учитывать, так как они значительно меньше горизонтальных.

Б.2.3 В качестве поперечной жесткости ригеля данного яруса эквивалентной рамы следует принимать поперечную жесткость всего перекрытия данного этажа, а в качестве поперечной жесткости стойки данного яруса эквивалентной рамы — сумму поперечных жесткостей стоек данного ряда того же яруса. Если рассматриваются поступательные колебания здания в направлении оси x, то жесткость ригеля необходимо определять как жесткость поперечного сечения перекрытия вертикальной плоскостью, параллельной оси y, а жесткость стойки следует определять суммой жесткостей всех стоек в ряду, параллельном оси y.

Б.2.4 Вращательные колебания каркасного здания необходимо рассматривать только при отсутствии несущих стен. Допускается применять приближенные расчетные схемы, пренебрегая влиянием кручения стоек.

Б.2.5 Если обобщенная жесткость ригеля эквивалентной рамы (поперечная жесткость, деленная на длину ригеля между смежными узлами) более чем в три раза превышает обобщенную жесткость стойки (поперечная жесткость стойки, деленная на ее высоту между смежными узлами), то ригель допускается считать абсолютно жестким.

Частоты собственных колебаний площадок под машины допускается определять по приближенным расчетным схемам.

Б.2.6 На горизонтальные колебания зданий с несущими стенами или жестким ограждением существенное влияние может оказывать упругость основания. Поэтому при динамических расчетах зданий на нежестких основаниях следует учитывать возможность вертикальных и горизонтальных смещений и поворотов здания на основании. Податливость оснований следует определять согласно действующим нормативным документам по динамическому расчету оснований и фундаментов.

Б.2.7 Расчет конструкций на динамические воздействия, передающиеся через грунт и возбуждающие колебания фундаментов, следует проводить на основе решений уравнений колебаний при кинематических воздействиях.

Б.2.8 При расчете несущих конструкций на действие периодических и импульсных нагрузок точность расчета существенным образом зависит от точности исходных данных. Поскольку исходные данные (конструктивные схемы, нагрузки, жесткости элементов и стыков, массы) для строительных конструкций задаются со сравнительно небольшой точностью, возможная погрешность расчета вблизи резонанса может во много раз превышать обычные для инженерных расчетов пределы, особенно при малых значениях коэффициента неупругого сопротивления.

Б.2.9 Во всех случаях в соответствии с подразделами 7.5—7.8 следует предусматривать возможность возбуждения колебаний в резонансных режимах. Частоты вынужденных колебаний от внешних источников определяют, исходя из характеристик оборудования или по результатам инструментального обследования колебаний. Частоты свободных колебаний могут быть установлены расчетом или по записям свободных колебаний, возбуждаемых при ударных воздействиях.

В тех случаях, когда полученные соотношения частот попадают в резонансную зону, следует предусматривать мероприятия по снижению уровней колебаний, в частности приложения А.

УДК 699.88:69.003.12 ОКС 91.120.25

Ключевые слова: виброизоляция, импульсные воздействия, колебания зданий и сооружений, колебания конструкций, нормирование колебаний, периодические колебания, спектр воздействий

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 19.03.2019. Подписано в печать 08.04.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,78.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru