МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 26.13330.2012

ФУНДАМЕНТЫ МАШИН С ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Актуализированная редакция

СНиП 2.02.05-87

Издание официальное

Москва 2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки – постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП) ОАО «НИЦ «Строительство»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2011 г. № 609 и введен в действие с 1 января 2013 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 26.13330.2010 «СНиП 2.02.05-87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками»

Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минрегион России) в сети Интернет

© Минрегион России, 2011

Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минрегиона России

Содержание

1 Область применения ... 1
2 Нормативные ссылки ... 1
3 Термины и определения ... 2
4 Общие положения ... 2
5 Проектирование фундаментов машин ... 4
5.1 Исходные данные для проектирования фундаментов ... 4
5.2 Общие требования к проектированию фундаментов ... 5
5.3 Особенности проектирования свайных фундаментов ... 11
5.4 Особенности проектирования фундаментов машин на многолетнемерзлых грунтах ... 11
6 Расчет колебаний фундаментов машин ... 12
6.1 Общие указания по расчету колебаний фундаментов машин ... 12
6.2 Расчет колебаний фундаментов машин с периодическими нагрузками ... 16
6.3 Расчет колебаний фундаментов машин с импульсными нагрузками ... 23
6.4 Расчет колебаний фундаментов машин на случайные динамические нагрузки ... 24
6.5 Расчет колебаний массивных и стенчатых фундаментов машин при кинематическом возбуждении ... 25
6.6 Особенности расчета свайных фундаментов ... 26
6.7 Особенности расчета колебаний фундаментов машин на многолетнемерзлых грунтах ... 31
7 Особенности расчета и проектирования фундаментов различных видов машин ... 32
7.1 Фундаменты машин с вращающимися частями ... 32
7.2 Фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами ... 35
7.3 Фундаменты кузнечных молотов ... 36
7.4 Фундаменты формовочных машин литейного производства ... 39
7.5 Фундаменты формовочных машин для производства сборного железобетона ... 42
7.6 Фундаменты оборудования копровых бойных площадок ... 44
7.7 Фундаменты дробилок ... 45
7.8 Фундаменты мельничных установок ... 47
7.9 Фундаменты прессов ... 48
7.10 Фундаменты прокатного оборудования ... 50
7.11 Фундаменты металлорежущих станков ... 51
7.12 Фундаменты вращающихся печей ... 54
Приложение А (обязательное) Термины и определения ... 57
Приложение Б (рекомендуемое) Расчет колебаний несимметричных массивных и стенчатых фундаментов при произвольной зависимости нагрузки от времени ... 58
Приложение В (рекомендуемое) Расчет фундаментов машин с вращающимися частями по деформациям ... 60
Приложение Г (справочное) Список обозначений ... 62
Библиография ... 65

Введение

Актуализация настоящих норм проведена НИИОСП им. Н.М. Герсеванова (руководители темы: д-р техн. наук, проф. *В.П. Петрухин*, канд. техн. наук *И.В. Колыбин*, д-р техн. наук, проф. *В.И. Шейнин*; исполнители: д-р техн. наук, проф. *Л.Р. Ставницер*, кандидаты техн. наук *М.Л. Холмянский, В.С. Поляков*). В работе использованы предложения *А.Е. Бабского, Е.Г. Бабского, И.Н. Масько* (СПбАЭП), *А.И. Сердобольского* (Главгосэкспертиза России), *О.М. Финагенова, Б.В. Цейтлина* (ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева) и других специалистов.

СВОД ПРАВИЛ

ФУНДАМЕНТЫ МАШИН С ДИНАМИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Foundations for machines with dynamic loads

Дата введения 2013–01–01

1 Область применения

1.1 Настоящие нормы распространяются на проектирование фундаментов машин с динамическими нагрузками, в том числе фундаментов: машин с вращающимися частями (включая турбомашины мощностью до 100 МВт), машин с кривошипно-шатунными механизмами, кузнечных молотов, формовочных машин для литейного производства, формовочных машин для производства сборного железобетона, копрового оборудования бойных площадок, дробильного, прокатного, прессового оборудования, мельничных установок, металлорежущих станков и вращающих печей.

Примечание – Далее наряду с термином «фундаменты машин с динамическими нагрузками» используются термины «фундаменты машин» и «фундаменты».

1.2 Настоящие нормы не распространяются на проектирование фундаментов машин в районах со сложными инженерно-геологическими условиями, в сейсмических районах, на подрабатываемых территориях, на предприятиях с систематическим воздействием повышенных (более 50 °С) технологических температур, агрессивных сред и в других особых условиях.

2 Нормативные ссылки

В настоящих нормах приведены ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 54257–2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования

ГОСТ 12.1.012–2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования

ГОСТ 263–75 Резина. Метод определения твердости по Шору А

ГОСТ 2695–83* Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия

ГОСТ 8486–86* Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия

ГОСТ 25100–95 Грунты. Классификация

СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции»

СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»

СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений»

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85* Свайные фундаменты»

СП 25.13330.2012 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»

СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»

СП 43.13330.2012 «СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий»

СП 47.13330.2010 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

Издание официальное

СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

3 Термины и определения

Термины и определения приведены в приложении А.

4 Общие положения

4.1 Настоящий свод правил основан на приведенных ниже допущениях и предусматривает, что:

исходные данные для проектирования должны собираться в необходимом объеме, регистрироваться и интерпретироваться специалистами, обладающими соответствующей квалификацией и опытом;

проектирование должно выполняться специалистами, имеющими соответствующие квалификацию и опыт;

должны быть обеспечены координация и связь между специалистами по инженерным изысканиям, проектированию, строительству и машиностроению;

должен быть обеспечен соответствующий контроль качества при производстве строительных изделий и выполнении работ на строительной площадке;

строительные работы, установка и наладка оборудования должны выполняться квалифицированным и опытным персоналом, способным обеспечить требования стандартов и технических условий;

используемые материалы и изделия должны удовлетворять требованиям проекта и технических условий;

техническое обслуживание фундаментов машин с динамическими нагрузками и связанных с ними инженерных систем и машин должно обеспечивать их безопасность и рабочее состояние на весь срок эксплуатации;

фундаменты машин с динамическими нагрузками должны использоваться по их назначению в соответствии с проектом.

4.2 Фундаменты машин с динамическими нагрузками должны проектироваться на основе и с учетом:

а) результатов инженерных изысканий для строительства;

б) данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности машин с динамическими нагрузками, а также условия их эксплуатации;

в) нагрузок, действующих на фундаменты машин;

г) окружающей застройки и влияния на нее вновь строящихся и реконструируемых фундаментов машин;

д) экологических и санитарно-эпидемиологических требований.

4.3 При проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность на всех стадиях строительства и эксплуатации этих фундаментов. Необходимо проводить технико-экономическое сравнение возможных вариантов проектных решений для выбора наиболее экономичного и надежного проектного решения, обеспечивающего наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов и физико-механических свойств материалов фундаментов и других конструкций.

При разработке проектов производства работ и организации строительства должны выполняться требования по обеспечению надежности конструкций на всех стадиях их возведения.

4.4 Работы по проектированию следует вести в соответствии с техническим заданием на проектирование и необходимыми исходными данными (см. 4.2 и подраздел 5.1).

4.5 При проектировании следует учитывать уровень ответственности зданий и сооружений.

4.6 Инженерные изыскания для строительства должны проводиться в соответствии с СП 47.13330, [1], [2], [3], стандартами и другими нормативными документами по инженерным изысканиям и исследованиям грунтов для строительства, а также требованиями 4.7 и подраздела 5.1.

Наименование грунтов оснований в отчетной документации по результатам инженерных изысканий и в проектной документации следует принимать по ГОСТ 25100.

4.7 Результаты инженерных изысканий должны содержать данные, необходимые для выбора конструктивных решений фундаментов машин с динамическими нагрузками и проведения их расчетов по предельным состояниям с учетом прогноза возможных изменений (в процессе строительства и эксплуатации) инженерно-геологических условий площадки строительства и свойств грунтов, а также вида и объема инженерных мероприятий, необходимых для ее освоения.

Проектирование без соответствующих результатов инженерных изысканий или при их недостаточности не допускается.

Примечание – В необходимых случаях инженерные изыскания следует предусматривать не только для вновь строящихся или реконструируемых фундаментов машин, но и для окружающей застройки, попадающей в зону их влияния.

4.8 При возведении нового объекта или реконструкции существующего необходимо выполнять прогноз распространения колебаний в грунте от фундаментов машин с целью предотвращения недопустимых колебаний зданий и сооружений.

4.9 При планировании и проведении геотехнического мониторинга вновь возводимых или реконструируемых фундаментов машин необходимо учитывать особенности мониторинга фундаментов машин.

Программа мониторинга фундаментов машин должна включать измерение колебаний машин и их фундаментов, а в необходимых случаях – грунта и окружающих зданий и сооружений. Измерения должны обеспечивать возможность проверки всех требований задания на проектирование к колебаниям, включая требования стандартов безопасности труда в части допустимых уровней вибраций и требования к обеспечению нормальной работы машин, оборудования и приборов, расположенных на фундаменте или вблизи него, конструкций и оснований зданий и сооружений. В программе измерения колебаний необходимо указывать:

периодичность измерений (однократно, после текущего ремонта машины с динамическими нагрузками и т.д.);

контролируемые параметры колебаний фундаментов машин, грунта и окружающих зданий и сооружений и их расчетные значения;

требуемая точность и применяемая методика измерений;

схемы установки датчиков.

При обнаружении нарушения требований по ограничению колебаний должно быть проведено детальное обследование с выявлением причин и разработкой рекомендаций по ремонту машин с динамическими нагрузками, усилению их фундаментов или разработкой других мероприятий. При необходимости следует предусматривать обследование колебаний при их искусственном возбуждении.

4.10 При научно-техническом сопровождении строительства объектов, где запроектированы фундаменты машин с динамическими нагрузками, необходимо включать в состав работ по научно-техническому сопровождению раздел «Фундаменты машин с динамическими нагрузками».

4.11 При геотехнической экспертизе для объектов, где проектируются фундаменты машин с динамическими нагрузками, необходимо предусматривать соответствующий анализ программы и результатов инженерных изысканий, проектной документации на вновь возводимые (реконструируемые) фундаменты машин с динамическими нагрузками.

4.12 Научно-техническое сопровождение и геотехническая экспертиза проекта должны осуществляться специализированными организациями, имеющими в своем составе специалистов, обладающих соответствующими квалификацией и опытом.

4.13 Замена предусмотренных проектом материалов, изделий и конструкций допускается только по согласованию с проектной организацией и заказчиком.

5 Проектирование фундаментов машин

5.1 Исходные данные для проектирования фундаментов

В состав исходных данных для проектирования фундаментов машин с динамическими нагрузками должны входить:

техническая характеристика машины (наименование, тип, число оборотов в минуту, мощность, общая масса и масса движущихся частей, кинематическая схема оборудования с привязкой движущихся масс, скорость ударяющих частей и т.п.);

данные о значениях, местах приложения и направлениях действия статических нагрузок, а также об амплитудах, частотах, фазах, законе изменения во времени, местах приложения и направлениях действия динамических нагрузок в режиме нормальной эксплуатации, а также в аварийных режимах, в том числе нагрузок, действующих на фундаментные болты; размеры площадок передачи нагрузок; сведения о наличии заводской виброизоляции у машин с указанием динамических нагрузок, передаваемых на фундаменты с учетом этой виброизоляции;

данные о предельных значениях деформаций фундаментов и их оснований (осадка, крен, прогиб фундамента и его элементов, амплитуда, скорость или ускорение колебаний и др.), если такие ограничения вызываются условиями технологии производства, работы машины или рядом расположенного высокоточного и чувствительного к вибрациям оборудования; требования по ограничению взаимных деформаций отдельных частей машины;

данные об условиях размещения машины (оборудования) на фундаментах: отдельные фундаменты под каждую машину (агрегат) или групповая их установка на общем фундаменте; данные о характеристиках опорных плит (рам) агрегированного оборудования, данные о типе их соединения с фундаментом;

чертежи габаритов фундамента в пределах расположения машины, элементов ее крепления, а также вспомогательного оборудования и коммуникаций с указанием

расположения и размеров выемок, каналов и отверстий, размеров подливки и пр., чертежи расположения фундаментных болтов с указанием их типа и диаметра, закладных деталей, обортовок и т.п.;

данные о привязке проектируемого фундамента к конструкциям здания (сооружения), в частности, к его фундаментам, данные об особенностях здания (сооружения), в том числе о виде и расположении имеющегося в нем оборудования и коммуникаций;

данные об инженерно-геологических условиях участка строительства и физико-механических свойствах грунтов основания на глубину сжимаемой толщи, определяемой в соответствии с требованиями СП 22.13330; данные о характеристиках виброползучести грунтов в случаях ограничения деформаций фундамента; данные о скоростях продольных и поперечных упругих волн; данные о коэффициентах жесткости грунтов оснований и несущей способности свай при статических и динамических нагрузках;

специальные требования к защите фундамента и его приямков от подземных вод, воздействия агрессивных сред и промышленных стоков, температурных воздействий;

данные об использовании машин во времени для фундаментов, строящихся на многолетнемерзлых грунтах.

Кроме перечисленных выше данных, в соответствующих разделах приведены дополнительные исходные данные для проектирования, вытекающие из специфики каждого вида машин.

5.2 Общие требования к проектированию фундаментов

5.2.1 Фундаменты машин с динамическими нагрузками должны удовлетворять требованиям расчета по прочности и по пригодности к нормальной эксплуатации, а для фундаментов с расположенными на них рабочими местами – также требованиям стандартов безопасности труда в части допустимых уровней вибраций.

Колебания фундаментов не должны оказывать вредного влияния на технологические процессы, оборудование и приборы, расположенные на фундаменте или вне его, а также на находящиеся вблизи конструкции зданий и сооружений.

При проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками следует учитывать требования СП 22.13330, СП 24.13330, СП 63.13330, СП 16.13330 и пр.

5.2.2 Фундаменты машин с динамическими нагрузками могут быть бетонными или железобетонными монолитными, сборно-монолитными и сборными, а при соответствующем обосновании – металлическими.

Монолитные фундаменты следует проектировать под все виды машин с динамическими нагрузками, а сборно-монолитные и сборные, как правило, – под машины периодического действия (с вращающимися частями, с кривошипно-шатунными механизмами и др.).

5.2.3 Класс бетона по прочности на сжатие для монолитных и сборно-монолитных фундаментов должен быть не ниже В12,5, а для сборных – не ниже В15. Для неармированных фундаментов станков допускается применять бетон класса В7,5. В случае одновременного воздействия на фундамент динамической нагрузки и повышенных технологических температур класс бетона должен быть не ниже В15.

5.2.4 Фундаменты машин допускается проектировать отдельными под каждую машину (агрегат) или общими под несколько машин (агрегатов).

Фундаменты машин, как правило, должны быть отделены сквозным швом от смежных фундаментов здания, сооружения и оборудования, а также от пола.

Примечание – Соединение фундаментов машин с фундаментами здания или опирание на них конструкций здания допускается в отдельных случаях, указанных в отдельных соответствующих разделах.

5.2.5 С целью уменьшения вибраций фундаментов машин с динамическими нагрузками и окружающей застройки при соответствующем обосновании рекомендуется предусматривать виброизоляцию фундаментов. Выбор конструктивных решений виброизоляции фундаментов и ее расчет в настоящих правилах не рассматриваются. При снижении виброизоляцией уровня вибрации подошвы фундамента до фоновых значений основание рассчитывается на действие только статических нагрузок.

5.2.6 Устройство фундаментов машин с динамическими нагрузками, за исключением фундаментов турбоагрегатов мощностью 25 тыс. кВт и более, допускается на насыпных грунтах, если такие грунты не содержат органических примесей, вызывающих неравномерные осадки грунта при сжатии. При этом основание из насыпных грунтов должно быть уплотнено (тяжелыми трамбовками, вибрированием или другими способами) в соответствии с требованиями СП 22.13330.

Примечание – Фундаменты машин неимпульсного (неударного) действия с двигателями мощностью менее 500 кВт со средним давлением под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок[1] менее 70 кПа допускается возводить на насыпных грунтах без искусственного уплотнения, если возраст насыпи из песчаных грунтов не менее двух лет и из глинистых грунтов не менее пяти лет.

5.2.7 При проектировании фундаментов машин на естественном основании следует стремиться к совмещению на одной вертикали центра тяжести площади подошвы фундамента и линии действия равнодействующей статических нагрузок от веса машины, фундамента и грунта на обрезах и выступах фундамента, а для свайных фундаментов – центра тяжести плана свай и линий действия равнодействующей статических нагрузок от веса машины и ростверка. При этом эксцентриситет, как правило, не должен превышать (за исключением случаев, оговоренных в отдельных разделах) для грунтов с табличным значением расчетного сопротивления $R_0 \leq 150$ кПа 3%, а для грунтов с $R_0 > 150$ кПа, а также свайных фундаментов из висячих свай – 5 % размера стороны подошвы фундамента, в направлении которой смещен центр тяжести. Значение R_0 следует определять по табличным данным СП 22.13330; для фундаментов турбоагрегатов эксцентриситет не должен превышать 3 % указанного размера независимо от значения R_0. Для оснований, сложенных скальными грунтами, а также свайных фундаментов из свай-стоек значение эксцентриситета не нормируется.

При нарушении ограничений на эксцентриситет следует рассчитывать колебания массивных и стенчатых фундаментов в соответствии с указаниями приложения Б. При этом величина краевого давления при внецентренном загружении фундамента не должна превышать значения, определяемого правой частью формулы (1), более чем на 25 %.

5.2.8 Фундаменты машин с динамическими нагрузками следует проектировать:

массивными в виде блока или плиты с необходимыми приямками, колодцами и отверстиями для размещения частей машины, вспомогательного оборудования, коммуникаций и т.д.;

стенчатыми, состоящими из нижней фундаментной плиты (или ростверка), системы стен и верхней плиты (или рамы), на которой располагается оборудование;

[1] Далее вместо термина «среднее давление под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок» используется термин «среднее статическое давление под подошвой фундамента».

рамными, представляющими собой пространственную конструкцию, состоящую, как правило, из верхней плиты или системы балок, опирающихся через стойки на нижнюю фундаментную плиту;

облегченными различных конструктивных типов, в том числе безростверковыми свайными.

5.2.9 Оборудование с вращающимися частями, кривошипно-шатунными механизмами и станочное оборудование, агрегируемое на железобетонных опорных плитах, допускается устанавливать без фундаментов на подстилающий слой полов промышленных зданий при обосновании расчетом, а также в случаях, указанных в соответствующих разделах.

5.2.10 Подошву фундаментов машин, как правило, следует предусматривать прямоугольной формы в плане и располагать на одной отметке.

Высоту фундаментов машин следует назначать минимальной из условий размещения технологического оборудования, выемок и шахт, а также глубины заделки фундаментных болтов.

5.2.11 При проектировании рамных фундаментов рекомендуется:

соблюдать симметрию фундамента как по общей геометрической схеме, так и по форме элементов;

располагать ригели поперечных рам симметрично по отношению к осям стоек;

избегать передачи нагрузок на ригели и балки с эксцентриситетом;

проектировать верх фундаментов без уступов по высоте;

назначать вылеты всех консолей минимально возможных размеров, причем высоту опорного сечения консоли при отсутствии соответствующих расчетов принимать не менее 0,75 ее вылета.

5.2.12 Высоту нижней фундаментной плиты в стенчатых и рамных фундаментах следует принимать по расчету, но не менее 0,4 м и не менее толщины стены или большего размера стоек.

Верхняя железобетонная плита (рама) стенчатого фундамента должна быть жестко связана со стенами. Нижнюю поверхность плиты рекомендуется выполнять на одной отметке.

Стены следует располагать, как правило, вдоль линии действия горизонтальных динамических нагрузок.

5.2.13 Типы фундаментных болтов, способы их установки, а также материал и установочные параметры следует назначать в соответствии с требованиями СП 43.13330.

При ударной нагрузке, а также при динамических нагрузках, требующих установки болтов диаметром не менее 42 мм, следует применять съемные фундаментные болты.

Расстояние от нижних концов болтов до подошвы фундамента должно быть не менее 100 мм.

5.2.14 Конструктивное армирование массивных фундаментов предусматривает общее армирование по подошве и местное под станинами машин и в местах резкого изменения размеров сечения фундамента.

При армировании подошвы фундаментов диаметры продольных и поперечных стержней следует принимать не менее 10 мм при стороне подошвы менее 3 м и не менее 12 мм при большем размере с шагом стержней 200 мм.

При местном армировании под станинами машин неударного действия диаметр стержней следует принимать в зависимости от диаметра болтов, крепящих

оборудование к фундаментам, согласно таблице 1. При этом размер сеток должен превышать размер станины машины в плане, как правило, на 300 – 600 мм в зависимости от диаметра арматуры, равной 10 – 20 мм соответственно. Рекомендуемый шаг стержней – 200 мм.

Местное армирование под станинами машин с ударными нагрузками следует производить согласно указаниям соответствующих разделов.

Для армирования участков фундаментов, воспринимающих ударные нагрузки, следует, как правило, применять вязаную арматуру. При этом защитный слой бетона следует принимать не менее 30 мм.

Таблица 1

Диаметр болтов для крепления оборудования, мм	Менее 42	42–56	Более 56
Диаметр стержней, мм	10–12	12–16	16–20
Примечание – В массивных фундаментах машин неударного действия объемом 20 м^3 и менее общее армирование по подошве допускается не предусматривать.			

5.2.15 Армирование элементов стенчатых и рамных фундаментов осуществляется по расчету в соответствии с требованиями СП 63.13330 с учетом следующих дополнительных указаний:

арматура балок, ригелей и стоек должна иметь замкнутые хомуты или стержни, приваренные к продольным стержням по периметру поперечного сечения конструкции;

стойки следует армировать симметричной продольной арматурой с шагом не более 300 мм;

по боковым граням балок и ригелей не реже чем через 300 мм по высоте сечения следует устанавливать промежуточные стержни диаметром не менее 12 мм;

при конструктивном армировании стен стенчатого фундамента диаметр вертикальных стержней должен быть не менее 12 мм, а горизонтальных — не менее 10 мм. Шаг стержней в обоих направлениях следует принимать равным 200 мм.

5.2.16 Температурно-усадочные швы в фундаментах следует, как правило, предусматривать на расстояниях:

для монолитных бетонных фундаментов 20 м;

для железобетонных фундаментов монолитных 40 м, сборно-монолитных 50 м.

Указанные расстояния могут быть увеличены при соответствующем обосновании. При этом швы следует расположить таким образом, чтобы на отдельных участках фундамента, разделенных швами, разместить оборудование, не связанное жестко между собой.

Для уменьшения температурных деформаций допускается устраивать временные температурно-усадочные швы.

При ограничении прогиба фундамента по технологическим требованиям вместо температурно-усадочных швов следует предусматривать мероприятия по регулированию температурного режима при укладке бетона. В этом случае устройство временных температурно-усадочных швов не допускается.

5.2.17 Для фундаментов или их отдельных участков, подвергающихся воздействию агрессивных сред, должны быть предусмотрены меры по их защите в соответствии с требованиями СП 28.13330.

5.2.18 Расчет фундаментов машин и их оснований включает:

расчет колебаний фундаментов или отдельных их элементов;

проверку среднего статического давления под подошвой фундамента на естественном основании p или несущей способности свай;

расчет прочности элементов конструкций фундамента.

При наличии в задании на проектирование технологических требований, ограничивающих перемещения и деформации фундамента, следует выполнить их статический расчет из условия совместной деформации основания и фундамента.

5.2.19 Среднее статическое давление под подошвой фундамента на естественном основании p для всех типов машин, перечисленных в таблице 2, должно удовлетворять условию

$$p \le \gamma_{c0}\gamma_{c1}R, \qquad (1)$$

где p – среднее статическое давление под подошвой фундамента;

γ_{c0} – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 2;

γ_{c1} – коэффициент условий работы грунтов основания, принимаемый для мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции равным 0,7 (при проектировании фундаментов с массой падающих частей более 10 т значение коэффициента $\gamma_{c1} = 0,7$ принимается также для маловлажных и влажных мелких и пылеватых песков и водонасыщенных песков средней крупности и крупных); для всех остальных видов и состояний грунтов $\gamma_{c1} = 1$;

R – расчетное сопротивление грунта основания, определяемое в соответствии с требованиями СП 22.13330.

Таблица 2

Машины	Коэффициент условий работы γ_{c0}
С кривошипно-шатунными механизмами, прессы, металлорежущие станки, вращающиеся печи, прокатное оборудование	1,0
С вращающимися частями, дробилки, мельничные установки	0,8
Кузнечные молоты, формовочные машины, оборудование бойных площадок, для которых фундаменты выполняются в виде короба	0,5

5.2.20 Расчет прочности элементов конструкций фундаментов различных типов машин допускается производить на статическое действие расчетных динамических нагрузок, определяемых по формуле (2). Расчет массивных фундаментов на прочность, за исключением ослабленных сечений, консольных участков и пр., как правило, не производится.

5.2.21 При определении расчетных статических нагрузок, в число которых входят вес фундамента, вес грунта на обрезах фундамента, вес машины и вес вспомогательного оборудования, коэффициент надежности по нагрузке γ_f принимается в соответствии с требованиями СП 20.13330 при расчете прочности и равным 1 при проверке среднего статического давления под подошвой фундамента.

Расчетные динамические нагрузки F_d от динамического воздействия движущихся частей машины или нагрузки, представляющие какой-либо особый вид силового воздействия (например, момент короткого замыкания, обрыв молотка мельницы и т.п.), определяются:

при расчете колебаний как произведение значения нормативной динамической нагрузки F_n, соответствующего нормальному эксплуатационному режиму работы машины и принимаемого по указаниям соответствующих разделов или по заданию на проектирование, и коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$;

при расчете прочности элементов конструкций фундамента с заменой динамической нагрузки эквивалентной статической по формуле

$$F_d = \gamma_f \eta F_n, \quad (2)$$

где γ_f и η – коэффициенты соответственно надежности по нагрузке и динамичности, принимаемые по таблице 3;

F_n – нормативное значение динамической нагрузки, соответствующее нормальному эксплуатационному режиму работы машины или особому силовому воздействию и принимаемое по соответствующим разделам или по заданию на проектирование.

При расчете прочности элементов конструкций фундамента на основе прямого динамического расчета расчетные динамические нагрузки F_d определяются по формуле (2), в которой коэффициент динамичности η принимается равным 1.

Таблица 3

Машины	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Коэффициент динамичности η для нагрузок	
		вертикальных	горизонтальных
С вращающимися частями:			
а) нагрузки, создаваемые движущимися частями машины, при частоте вращения, об/мин:			
менее 500	4	3	2
от 500 до 1500	4	3–6*	2
» 1500 » 2000	4	6–10*	2
св. 2000	4	10	2
б) нагрузки от момента короткого замыкания	1	2	–
С кривошипно-шатунными механизмами при частоте вращения, об/мин:			
до 600	2	1	1
св. 600	1	4	2
Дробилки щековые, конусные	1,3	1,2	1,2
Дробилки молотковые	4	1	1
Мельницы	1,3	–	1
Прессы	1,5	2	2
Прокатное оборудование	1,2	2	2
Вращающиеся печи	1(2**)	1	1

*Для промежуточных значений частоты вращения значения коэффициента динамичности определяются интерполяцией.

**Для крайних опор фундамента к горизонтальной нагрузке, действующей поперек оси печи (при числе опор более двух).

Примечания

1 Для турбомашин мощностью более 25 тыс. кВт значение коэффициента η для вертикальных нагрузок в позиции а) таблицы следует уменьшать в два раза.

2 Для машин с вращающимися частями, у которых имеются также возвратно-поступательно движущиеся массы, коэффициент надежности по нагрузке для динамических нагрузок, создаваемых этими массами, следует принимать $\gamma_f = 1,3$.

3 Значения коэффициента η относятся к железобетонным фундаментам. Для стальных фундаментов следует производить динамический расчет.

4 Приведенные в таблице значения η учитывают знакопеременное действие нагрузок.

5.2.22 При проектировании фундаментов машин с динамическими нагрузками для строительства в сейсмических районах расчет прочности элементов массивных фундаментов следует производить без учета сейсмических воздействий.

При расчете рамных, стенчатых и облегченных фундаментов на сейсмические воздействия в особое сочетание нагрузок следует включать расчетные динамические нагрузки, создаваемые машинами в нормальном эксплуатационном режиме, с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

5.2.23. При проектировании фундаментов зданий и сооружений, чувствительных к неравномерным осадкам и воспринимающих динамические нагрузки, передаваемые машинами через строительные конструкции или грунт, среднее давление под подошвой фундамента на естественном основании должно удовлетворять условию

$$p \le \gamma_{c1} R . \qquad (3)$$

Условие (3) должно выполняться для фундаментов зданий и сооружений в пределах зоны, где скорость колебаний $v_s = a_s\omega$ на поверхности грунта от импульсных источников более 15 мм/с, от источников периодического действия и случайных более 2 мм/с (здесь a_s – амплитуда колебаний грунта, определяемая по формуле (19), ω – угловая частота вынужденных колебаний фундамента-источника для машин с периодическими нагрузками или собственных – для машин с импульсными или случайными нагрузками).

5.3 Особенности проектирования свайных фундаментов

Для фундаментов машин с периодическими нагрузками возможно применение свай любых видов; для фундаментов машин ударного действия следует применять железобетонные сваи сплошного сечения.

Расстояние между центрами свай в свайных фундаментах следует принимать в соответствии с указаниями СП 24.13330, но не более $10d$ (где d – диаметр или меньший размер стороны поперечного сечения свай).

Расчет колебаний свайных фундаментов выполняется в соответствии с указаниями подраздела 6.6.

5.4 Особенности проектирования фундаментов машин на многолетнемерзлых грунтах

5.4.1 Фундаменты машин с динамическими нагрузками, возводимые на многолетнемерзлых грунтах, следует проектировать в соответствии с требованиями СП 26.13330 и дополнительными требованиями, изложенными в 5.4.2, 5.4.3, 6.7.2, 6.7.3.

5.4.2 Несущую способность оснований фундаментов машин на многолетнемерзлых грунтах, используемых в качестве оснований по принципу I, следует определять по указаниям СП 25.13330 с учетом дополнительного коэффициента условий работы γ_{cs}, принимаемого по таблице 4.

Таблица 4

Коэффициент использования машин во времени	Коэффициент условий работы основания γ_{cs} из многолетнемерзлых грунтов, используемых по принципу I
Менее 0,5	0,8
От 0,5 до 0,7	0,7
Св. 0,7	0,5

5.4.3 Среднее статическое давление p под подошвой фундамента на естественном основании и несущую способность оснований свайных фундаментов машин с динамическими нагрузками на многолетнемерзлых грунтах, используемых по принципу II, следует определять согласно требованиям соответственно 5.2.19 и 6.6.1.

6 Расчет колебаний фундаментов машин

6.1 Общие указания по расчету колебаний фундаментов машин

6.1.1 Расчет колебаний производится на основе применения аналитических или численных методов. Фундаменты вместе с их основаниями и машинами допускается рассматривать как системы с конечным или бесконечным числом степеней свободы. Результаты расчетов должны удовлетворять условиям настоящих правил и дополнительным условиям технического задания. Допускается использование в расчетах вероятностных методов и методов теории надежности, учитывающих статистический разброс жесткости оснований и случайную природу динамических нагрузок.

Амплитуды вынужденных и свободных колебаний фундамента или отдельных его элементов следует определять для различных типов машин согласно указаниям соответствующих разделов. Определение амплитуд колебаний производится раздельно по направлениям и соответствующим частотам колебаний.

Амплитуды колебаний фундамента должны удовлетворять условию

$$a \le a_u, \qquad (4)$$

где a – наибольшая амплитуда колебаний фундамента, определяемая расчетом;

a_u – предельно допустимая амплитуда колебаний фундамента, устанавливаемая заданием на проектирование, а при ее отсутствии в задании принимаемая по таблице 5.

Таблица 5

Машины	Предельно допустимая амплитуда колебаний a_u, мм	
С вращающимися частями при частоте вращения, об/мин:	горизонтальных	вертикальных
менее 500	0,2	0,15
от 500 до 750	0,2–0,15	0,15–0,1
от 750 до 1000	0,15–0,1	0,1–0,06
от 1000 до 1500	0,1–0,05	0,06
свыше 1500	0,05	–
С кривошипно-шатунными механизмами при частоте вращения, об/мин:	Для первой гармоники	Для второй гармоники
менее 200	0,25	0,15
от 200 до 400	0,25–0,15	0,15–0,1
от 400 до 600	0,15–0,1	0,1–0,05
свыше 600	0,1	0,05
Дробилки конусные и щековые	0,3	
Дробилки молотковые	Как для машин с вращающимися частями	
Кузнечные молоты	1,2 (0,8*)	
Прессы	0,25	

Окончание таблицы 5

Машины	Предельно допустимая амплитуда колебаний a_u, мм
Формовочные машины	0,5 или по ГОСТ 12.1.012 (при расположении на фундаментах рабочих мест)
Мельницы	0,1**

* При возведении фундаментов на всех водонасыщенных песках, а также на мелких и пылеватых песках малой и средней степени водонасыщения.

** Среднеквадратическое значение амплитуды колебаний.

Примечания

1 Для промежуточных значений частоты вращения предельно допустимая амплитуда определяется интерполяцией.

2 Для машин с частотой вращения 200 об/мин и менее при высоте фундаментов более 5 м предельно допустимая амплитуда увеличивается на 20 %.

При расчете колебаний фундаментов машин допускается:

рассматривать основание как упруго-вязкое линейно деформируемое, свойства которого определяются коэффициентами упругого равномерного и неравномерного сжатия, упругого равномерного и неравномерного сдвига и коэффициентами, характеризующими демпфирование;

не учитывать эксцентриситет в распределении масс фундамента, если он не превышает значений, указанных в 5.2.7;

при упругом неравномерном сжатии (повороте подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний) допускается принимать, что плоскость колебаний параллельна линии действия возмущающей силы или плоскости действия возмущающего момента.

При действии на фундамент машины одновременно нескольких возмущающих сил и отсутствии данных об их фазовом соотношении рассматриваются варианты синфазного и противофазного действия сил, вызывающие наиболее неблагоприятные формы колебаний.

6.1.2 Основную упругую характеристику естественных оснований фундаментов машин – коэффициент упругого равномерного сжатия, C_z, кН/м^3, следует определять, как правило, по результатам испытаний или на основе данных о скоростях продольных и поперечных упругих волн.

При отсутствии экспериментальных данных значение C_z для фундаментов с площадью подошвы A не более 200 м^2 допускается определять по формуле

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}}\right), \qquad (5)$$

где b_0 – коэффициент, м$^{-1}$, принимаемый равным для песчаных грунтов 1, для супесей и суглинков 1,2, для глин и крупнообломочных грунтов 1,5;

E – модуль деформации грунта под подошвой фундамента, кПа; в случае неоднородного основания значение E определяется как среднее в пределах сжимаемой толщи;

A_{10} = 10 м^2;

A – площадь подошвы фундамента, м^2.

Для фундаментов с площадью подошвы A, превышающей 200 м^2, значение коэффициента C_z принимается как для фундаментов с площадью подошвы A = 200 м^2.

6.1.3 Коэффициенты упругого неравномерного сжатия C_φ, кН/м^3, упругого равномерного сдвига C_x кН/м^3, и упругого неравномерного сдвига C_ψ, кН/м^3, принимаются по результатам испытаний или на основе данных о скоростях упругих волн, а при отсутствии экспериментальных данных равными:

$$C_\varphi = 2C_z; \tag{6}$$

$$C_x = 0,7C_z; \tag{7}$$

$$C_\psi = C_z. \tag{8}$$

6.1.4 Коэффициенты жесткости для естественных оснований K_z, K_φ, K_x, K_ψ определяются по формулам:

при упругом равномерном сжатии – K_z, кН/м,

$$K_z = C_z A; \tag{9}$$

при упругом неравномерном сжатии (повороте подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний) – K_φ, кН·м,

$$K_\varphi = C_\varphi I_\varphi; \tag{10}$$

при упругом равномерном сдвиге – K_x, кН/м,

$$K_x = C_x A; \tag{11}$$

при упругом неравномерном сдвиге (повороте подошвы фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента) – K_ψ, кН·м,

$$K_\psi = C_\psi I_\psi. \tag{12}$$

В формулах (10), (12):

I_φ и I_ψ – соответственно моменты инерции площади подошвы фундамента относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, и вертикальной оси фундамента, проходящих через центр тяжести подошвы, м^4.

С целью более точной оценки коэффициентов жесткости основания следует учитывать влияние ряда дополнительных факторов, таких как наличие пола, боковой засыпки фундамента и др., на увеличение этих коэффициентов, проводя для этого специальные исследования.

6.1.5 Демпфирующие свойства основания должны учитываться относительным демпфированием ξ (доля критического затухания колебаний), определяемым, как правило, по результатам испытаний.

При отсутствии экспериментальных данных относительное демпфирование для вертикальных колебаний допускается ξ_z определять по формулам:

для установившихся (гармонических) и случайных колебаний

$$\xi_z = \frac{2}{\sqrt{p}}; \tag{13}$$

для неустановившихся (импульсных) колебаний

$$\xi_z = 6\sqrt{\frac{E}{C_z p}}, \qquad (14)$$

где p – то же, что в 5.2.19;

E, C_z – то же, что в 6.1.2.

6.1.6 Относительное демпфирование для горизонтальных и вращательных колебаний относительно горизонтальной и вертикальной осей принимаются равными:

$$\xi_x = 0,6\xi_z; \qquad (15)$$

$$\xi_\varphi = 0,5\xi_z; \qquad (16)$$

$$\xi_\psi = 0,3\xi_z. \qquad (17)$$

6.1.7 При групповой установке j однотипных машин на общем фундаменте значения амплитуд колебаний фундамента a следует определять при $j = 2$ как сумму амплитуд, при $j > 2$ по формуле

$$a = k\sqrt{\sum_{i=1}^{j} a_i^2}, \qquad (18)$$

где k – коэффициент, принимаемый для машин периодического действия равным 1,5, для машин с импульсными нагрузками – 0,7, для машин со случайными динамическими нагрузками – 1;

a_i – амплитуда колебаний фундамента при работе i-й машины;

j – число машин.

Расчетные значения амплитуд должны удовлетворять условию (4).

При групповой установке различного типа машин на общем фундаменте амплитуду колебаний фундамента следует определять как сумму амплитуд колебаний, вызываемых работой каждой из машин. При этом в условии (4) предельно допустимая амплитуда принимается на 30 % более значений, приведенных в таблице 5 для типа машины и частоты колебаний, соответствующих наибольшей составляющей расчетной амплитуды.

При установке машин с периодическими и случайными нагрузками на отдельно стоящих фундаментах амплитуду колебаний каждого фундамента следует определять с учетом колебаний, распространяющихся в грунте при работе машин, установленных на других фундаментах, в соответствии с указаниями подраздела 6.5. При этом допустимую амплитуду колебаний фундамента-приемника a_u следует принимать на 30 % более значений предельно допустимых амплитуд, приведенных в таблице 5.

Для фундаментов машин с импульсными нагрузками, устанавливаемых на отдельных фундаментах, расчет амплитуд колебаний допускается производить без учета передачи колебаний по грунту.

6.1.8 Расчет амплитуд вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта соответственно при вертикальных (горизонтальных) вибрациях фундаментов машин следует производить по формуле

$$a_s = a_0\left\{\frac{1}{\delta\left[1+(\delta-1)^2\right]}+\frac{\delta^2-1}{(\delta^2+1)\sqrt{3\delta}}\right\}, \qquad (19)$$

где a_s – амплитуда вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта на поверхности в точке, расположенной на расстоянии r от вертикальной оси фундамента, т.е. источника волн в грунте;

a_0 – амплитуда свободных или вынужденных вертикальных (горизонтальных) колебаний фундамента, т.е. источника волн в грунте на уровне его подошвы, определяемая для различных видов машин по формулам подразделов 6.2–6.4, в которых h_1 следует заменить на минус h_2;

$$\delta = r/r_0;$$

здесь r – расстояние от вертикальной оси фундамента-источника до точки на поверхности грунта, для которой определяется амплитуда колебаний;

r_0 – приведенный радиус подошвы фундамента-источника, $r_0 = \sqrt{A/\pi}$.

Частоту волн, распространяющихся в грунте, следует принимать равной частоте колебаний фундамента машины.

Примечание – В целях уточнения амплитуд колебаний, распространяющихся в грунте, допускается производить прогнозирование колебаний грунта на основе экспериментальных исследований.

6.2 Расчет колебаний фундаментов машин с периодическими нагрузками[1]

Рамные фундаменты[2]

6.2.1 Амплитуды горизонтально-вращательных колебаний относительно вертикальной оси верхней плиты рамных фундаментов $a_{h,\psi}$, м, следует определять по формуле

$$a_{h,\psi} = a_x + a_\psi l_b, \tag{20}$$

где a_x – амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести верхней плиты, м, вычисляемая по формуле

$$a_x = \frac{a_{x,st}}{\sqrt{\left[1-(\omega/\lambda_x)^2\right]^2 + 4(\xi'_x)^2(\omega/\lambda_x)^2}}; \tag{21}$$

a_ψ – амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний верхней плиты относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр тяжести, определяемая по формуле

$$a_\psi = \frac{a_{\psi,st}}{\sqrt{\left[1-(\omega/\lambda_\psi)^2\right]^2 + 4(\xi'_\psi)^2(\omega/\lambda_\psi)^2}}; \tag{22}$$

ω – частота вращения машины, $с^{-1}$, $\omega = 0{,}105 n_r$;

---

[1] К машинам с периодическими нагрузками относятся машины с вращающимися частями, кривошипно-шатунными механизмами, дробилки и др.

[2] Указания 6.2.1–6.2.4 относятся к машинам с периодическими нагрузками, имеющим частоту вращения не более 1000 об/мин. Для рамных фундаментов машин с частотой вращения более 1000 об/мин следует выполнять прямой динамический расчет.

n_r – частота вращения машины, об/мин;

$a_{x,st}$, $a_{\psi,st}$ – соответственно перемещение, м, и угол поворота, рад, центра тяжести верхней плиты при статическом действии силы F_h и момента M_z, определяемые по формулам

$$a_{x,st} = \frac{F_h}{S_x}; \tag{23}$$

$$a_{\psi,st} = \frac{M_z}{S_\psi}; \tag{24}$$

здесь F_h – расчетное значение горизонтальной составляющей динамической нагрузки, кН, определяемое по соответствующим разделам с учетом указаний 5.2.21;

M_z – расчетное значение возмущающего момента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, кН·м, для машин с вращающимися частями следует принимать $M_z = F_h\, l_b / 2$;

S_x, S_ψ – коэффициенты жесткости системы фундамент – основание соответственно в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси вала машины, кН/м, и при повороте в горизонтальной плоскости, кН·м, определяемые по формулам (25) и (26);

ξ'_x, ξ'_ψ – относительные демпфирования системы фундамент – основание, определяемые по формулам (31) и (32);

λ_x, λ_ψ – угловые частоты горизонтальных и вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, $с^{-1}$, определяемые по формулам (33) и (34);

l_b – расстояние от центра тяжести верхней плиты до оси наиболее удаленного подшипника машины, м.

6.2.2 Коэффициенты жесткости конструкции фундамента с учетом упругости основания S_x, кН/м, и S_ψ, кН·м, следует вычислять по формулам:

$$S_x = \frac{1}{(1/K_x) + (h^2/K_\varphi) + (1/S_x^0)}; \tag{25}$$

$$S_\psi = \frac{1}{(1/K_\psi) + (1/S_\psi^0)}; \tag{26}$$

В формулах (25) и (26):

h – высота фундамента, м;

K_x, K_ψ, K_φ – коэффициенты жесткости основания соответственно при упругом равномерном K_x и неравномерном K_ψ сдвиге и неравномерном сжатии K_φ, определяемые в соответствии с требованиями 6.1.4 или 6.6.3;

S_x^0 – сумма коэффициентов жесткости всех поперечных рам фундамента в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси вала машины, кН/м (N – число поперечных рам), определяемая по формуле

$$S_x^0 = \sum_{i=1}^{N} S_i; \tag{27}$$

S_{ψ}^{0} – сумма коэффициентов жесткости всех поперечных рам при повороте верхней плиты в горизонтальной плоскости относительно ее центра тяжести, кН·м, определяемая по формуле

$$S_{\psi}^{0} = \sum_{i=1}^{N} S_i e_i^2, \tag{28}$$

где e_i – расстояние от плоскости i-й поперечной рамы до центра тяжести верхней плиты, м.

Коэффициент жесткости одноэтажных поперечных рам с жесткими узлами S_i, кН/м, следует определять по формуле

$$S_i = \frac{2E_b I_{h,i}(1+6k_i)}{h_i^3(2+3k_i)}, \tag{29}$$

где E_b – модуль упругости материала рам верхнего строения, кПа;

$$k_i = \frac{h_i I_{l,i}}{l_i I_{h,i}}; \tag{30}$$

$I_{h,i}$, $I_{l,i}$ – моменты инерции поперечных сечений соответственно стойки и ригеля рамы, м^4.

h_i, l_i – соответственно расчетная высота стойки и расчетный пролет ригеля i-й поперечной рамы, м.

Примечание – Допускается принимать расчетную высоту стойки h_i равной расстоянию от верхней грани нижней плиты до оси ригеля (проходящей через центр тяжести площади его сечения), а расчетный пролет ригеля равным 0,9 расстояния между осями колонн.

6.2.3 Относительное демпфирование системы фундамент – основание ξ'_x и ξ'_{ψ} следует определять по формулам:

$$\xi'_x = S_x\left(\xi_x \frac{1}{K_x} + \xi_{\varphi}\frac{h^2}{K_{\varphi}} + \frac{\gamma}{2S_x^0}\right); \tag{31}$$

$$\xi'_{\psi} = S_{\psi}\left(\xi_{\psi}\frac{1}{K_{\psi}} + \frac{\gamma}{2S_{\psi}^0}\right), \tag{32}$$

где ξ_x, ξ_{φ}, ξ_{ψ} – относительное демпфирование для горизонтальных ξ_x и вращательных ξ_{φ} и ξ_{ψ} колебаний фундамента на грунте, определяемое в соответствии с требованиями 6.1.6 или 6.6.4;

γ – коэффициент поглощения энергии при колебаниях, принимаемый для железобетонных конструкций равным 0,06, для стальных конструкций – 0,02.

6.2.4 Угловые частоты колебаний фундамента λ_x и λ_{ψ}, с$^{-1}$, следует определять по формулам:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{S_x}{\bar{m}}}; \tag{33}$$

$$\lambda_\psi = \sqrt{\frac{S_\psi}{\bar{\theta}_\psi}}. \quad (34)$$

В формулах (33), (34):

$\bar{m}$ – масса системы, включающая массу всей машины, верхней плиты, продольных балок и поперечных ригелей рам, примыкающих к верхней плите, и 30 % массы всех колонн фундамента, т;

$\bar{\theta}_\psi$ – момент инерции массы $\bar{m}$ относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты (горизонтальной рамы), т·м^2; величину $\bar{\theta}_\psi$ допускается определять по формуле

$$\bar{\theta}_\psi = 0{,}1\,\bar{m}\,l^2, \quad (35)$$

где l – длина верхней плиты, м.

Массивные и стенчатые фундаменты

6.2.5 Амплитуды горизонтально-вращательных колебаний верхней грани массивных и стенчатых фундаментов относительно горизонтальной оси $a_{h,\varphi}$, м, следует определять по формуле

$$a_{h,\varphi} = \frac{F_h}{K_x}\sqrt{\frac{\psi_1^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\psi_2^2}{\Omega_1^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\Omega_2^2}}, \quad (36)$$

где

$$\psi_1 = S_1 + \beta\frac{h_1}{h_2}S_3; \quad (37)$$

$$\psi_2 = S_2 + \beta\frac{h_1}{h_2}S_4, \quad (38)$$

здесь

$$S_1 = (1+\beta)\left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2 + \beta(1+\kappa) - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2; \quad (39)$$

$$S_2 = (1+\beta)\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\frac{\xi_\varphi}{\xi_x} + \beta(1+\kappa); \quad (40)$$

$$S_3 = 1 + \kappa\left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2\right]; \quad (41)$$

$$S_4 = 1 + \kappa; \quad (42)$$

$$\Omega_1 = \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^4 + (1+\beta)\left\{\left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2 - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 \cdot \left[1 + \left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2 + 4\xi_x\,\xi_\varphi\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right]\right\}; \quad (43)$$

$$\Omega_2 = (1+\beta)\left\{\left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2 + \frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\frac{\xi_\varphi}{\xi_x} - \left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2\left(1+\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\frac{\xi_\varphi}{\xi_x}\right)\right\}; \quad (44)$$

$$\beta = \frac{h_2^2 m}{\theta_\varphi}; \quad (45)$$

$$\kappa = \frac{M}{F_h h_2}, \quad (46)$$

λ_x, λ_φ – угловые частоты колебаний фундамента, $с^{-1}$, соответственно горизонтальных и вращательных относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, определяемые по формулам:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{K_x}{m}}; \quad (47)$$

$$\lambda_\varphi = \sqrt{\frac{\bar{K}_\varphi}{\theta_{\varphi 0}}}; \quad (48)$$

$$\bar{K}_\varphi = K_\varphi - mgh_2; \quad (49)$$

K_x и K_φ – коэффициенты жесткости основания, кН/м и кН·м, определяемые согласно указаниям 6.1.4 или 6.6.3;

$\theta_{\varphi 0}$ – момент инерции массы всей установки относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, $т \cdot м^2$, определяется по формуле

$$\theta_{\varphi 0} = \theta_\varphi + mh_2^2; \quad (50)$$

θ_φ – момент инерции массы всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины) относительно оси, проходящей через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, $т \cdot м^2$;

m – масса всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины), т;

F_h – расчетная горизонтальная составляющая возмущающих сил машины, кН, определяемая по соответствующим разделам с учетом указаний 5.2.21;

M – расчетное значение возмущающего момента, кН·м, равного сумме моментов от горизонтальных составляющих возмущающих сил при приведении их к оси, проходящей через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний, и возмущающему моменту машины;

h_1, h_2 – расстояния от общего центра тяжести установки соответственно до верхней грани фундамента и до подошвы фундамента, м.

6.2.6 Главные собственные частоты колебаний установки $\lambda_{1,2}$, $с^{-1}$, следует определять из соотношения

$$\left(\frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_x}\right)^2 = \frac{Z}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{Z}{2}\right)^2 - (1+\beta)\left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2}, \quad (51)$$

где

$$Z = (1+\beta)\left[1+\left(\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\right)^2\right]. \quad (52)$$

6.2.7 Амплитуды горизонтальных a_x, м, и вращательных a_φ, рад, колебаний массивных и стенчатых фундаментов следует определять по формуле (36), принимая $S_3 = S_4 = 0$ (при определении a_x) и $S_1 = S_2 = 0$, $h_1 = 1$ (при определении a_φ).

6.2.8 Амплитуды горизонтально-вращательных колебаний верхней грани фундамента $a_{h,\varphi}$, м, при действии только момента M ($F_h = 0$) следует определять по формуле

$$a_{h,\varphi} = \frac{M\beta}{K_x h_2}\sqrt{\frac{\left\{1+(h_1/h_2)\left[1-(\omega/\lambda_x)^2\right]\right\}^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\left[1+(h_1/h_2)\right]^2}{\Omega_1^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\Omega_2^2}}. \quad (53)$$

6.2.9 Амплитуды вертикальных колебаний массивных и стенчатых фундаментов a_v, м, с учетом вращения относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, следует определять по формуле

$$a_v = a_z + a'_z, \quad (54)$$

где

$$a_z = \frac{F_v}{K_z\sqrt{\left[1-(\omega/\lambda_z)^2\right]^2 + 4\xi_z^2(\omega/\lambda_z)^2}}; \quad (55)$$

a'_z – амплитуда вертикальной составляющей вращательных колебаний фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний, определяемая при действии горизонтальных сил F_h и моментов M, включая моменты от вертикальных и горизонтальных сил, по формуле

$$a'_z = a_\varphi l_f, \quad (56)$$

а при отсутствии горизонтальных сил ($F_h = 0$) по формуле

$$a'_z = \frac{Ml_f\beta}{K_x h_2^2}\sqrt{\frac{\left[1-(\omega/\lambda_x)^2\right]^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2}{\Omega_1^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\Omega_2^2}}, \quad (57)$$

где a_φ – амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний фундамента относительно горизонтальной оси, определяемая по указаниям 6.2.7;

F_v – расчетная вертикальная составляющая возмущающих сил машины, кН, определяемая по соответствующим разделам с учетом указаний 5.2.21;

M – расчетное значение возмущающего момента, включающее моменты от вертикальных и горизонтальных сил, кН·м;

K_z – коэффициент жесткости основания, кН/м, определяемый согласно указаниям 6.1.4 или 6.6.3;

λ_z – угловая частота собственных вертикальных колебаний фундамента, $с^{-1}$, определяемая по формуле

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z}{m}}; \tag{58}$$

ξ_z – относительное демпфирование при вертикальных колебаниях фундамента, определяемое согласно указаниям 6.1.5 или 6.6.4;

l_f – расстояние от вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, до края верхней грани фундамента в направлении действия сил и моментов, м.

6.2.10 Амплитуды горизонтальных колебаний массивных и стенчатых фундаментов при вращении относительно вертикальной оси[1] $a_{h,\psi}$, м, следует определять по формуле

$$a_{h,\psi} = a_\psi l_{max}, \tag{59}$$

где l_{max} – расстояние от вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, до наиболее удаленной точки фундамента, м;

a_ψ – амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, определяемая по формуле

$$a_\psi = \frac{M_\psi}{K_\psi \sqrt{\left[1-(\omega/\lambda_\psi)^2\right]^2 + 4\xi_\psi^2(\omega/\lambda_\psi)^2}}, \tag{60}$$

здесь M_ψ – расчетное значение возмущающего момента, кН·м, относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки;

K_ψ – коэффициент жесткости основания при упругом неравномерном сдвиге, кН·м, определяемый в соответствии с требованиями 6.1.4 или 6.6.3;

ξ_ψ – относительное демпфирование для вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, определяемое в соответствии с требованиями 6.1.6 или 6.6.4;

λ_ψ – угловая частота вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, $с^{-1}$, определяемая по формуле

$$\lambda_\psi = \sqrt{\frac{K_\psi}{\theta_\psi}}, \tag{61}$$

где θ_ψ – момент инерции масс всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины) относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, $т \cdot м^2$.

[1] Формулы используются при расчете колебаний фундаментов оппозитных компрессоров.

6.3 Расчет колебаний фундаментов машин с импульсными нагрузками[1]

6.3.1 Амплитуду вертикальных колебаний фундамента при центральной установке машины a_z, м, следует определять по формуле

$$a_z = \frac{(1+\varepsilon)J_z}{(1+1,67\xi_z)\lambda_z m}, \quad (62)$$

где ε – коэффициент восстановления скорости удара, значение которого следует принимать по указаниям соответствующих разделов;

J_z – импульс вертикальной силы, кН·с, определяемый по указаниям соответствующих разделов;

m, λ_z – то же, что в формулах подраздела 6.2.

6.3.2 Амплитуду вертикальных колебаний фундамента с учетом вращения относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, a_v, м, следует определять по формуле

$$a_v = a_z + a'_z, \quad (63)$$

в которой a_z определяется по формуле (62), а a'_z – по формуле

$$a'_z = a_\varphi l_f, \quad (64)$$

где l_f – расстояние от вертикальной оси фундамента до края верхней грани в направлении действия импульса, м;

a_φ – амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний фундамента относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, определяемая по формуле

$$a_\varphi = \frac{(1+\varepsilon)J_\varphi}{(1+1,67\xi_\varphi)\lambda_\varphi \theta_{\varphi 0}}, \quad (65)$$

здесь J_φ – импульс момента сил относительно горизонтальной оси фундамента, перпендикулярной плоскости колебаний, кН·с·м, определяемый по указаниям соответствующих разделов;

$\theta_{\varphi 0}$, λ_φ – то же, что в 6.2.5.

6.3.3 Амплитуды горизонтальной составляющей горизонтально-вращательных колебаний фундамента $a_{h,\varphi}$, м, и вращательных $a_{h,\psi}$, м, соответственно, относительно горизонтальной и вертикальной осей, проходящих через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний, следует определять по формулам

$$a_{h,\varphi} = a_\varphi h; \quad (66)$$

$$a_{h,\psi} = a_\psi l_{\max}, \quad (67)$$

где h – расстояние от подошвы до верхней грани фундамента, м;

a_ψ – амплитуда (угол поворота), рад, вращательных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, определяемая по формуле

[1] К машинам с импульсными нагрузками относятся кузнечные молоты, формовочные машины литейного производства, прессы и др.

$$a_{\psi} = \frac{(1+\varepsilon)J_{\psi}}{(1+1,67\xi_{\psi})\lambda_{\psi}\theta_{\psi}}; \qquad (68)$$

J_{ψ} – импульс момента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки, кН·с·м;

λ_{ψ}, θ_{ψ}, l_{max} – то же, что в 6.2.10.

6.4. Расчет колебаний фундаментов машин на случайные динамические нагрузки

6.4.1 Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани массивных и стенчатых фундаментов машин (например, мельниц) $a_{h,\varphi}$, м, рассчитываемых на случайные динамические нагрузки, следует определять по формуле

$$a_{h,\varphi} = \frac{\sqrt{\pi S_q}}{m\lambda_1} \frac{[1+(h_1/h_2)\rho_1][1+(h_0/h_2)\rho_1]}{\sqrt{2\xi_x\lambda_1[1+(\rho_1^2/\beta)]\zeta}}, \qquad (69)$$

где S_q – спектральная плотность случайной нагрузки, кН^2·с, определяемая по формуле

$$S_q = \frac{(\alpha m' d)^2 \omega^3}{\pi}\left[1-\left(\frac{\omega^2 d}{2g}\right)^2\right]; \qquad (70)$$

$$\zeta = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_x}\right)^2 + \frac{\xi_{\varphi}}{\xi_x}\rho_1\left(1+\frac{\rho_1}{\beta}\right); \qquad (71)$$

$$\rho_1 = 1-\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_x}\right)^2, \qquad (72)$$

где h_0 – расстояние от центра тяжести установки до оси вращения барабана мельницы, м;

m' – масса загрузки барабана мельницы, т;

ω – угловая частота вращения барабана, с$^{-1}$;

d – диаметр барабана, м;

α – коэффициент, зависящий от типа машины (мельницы) и принимаемый:
для стержневых мельниц $\alpha = 0,015$;
для остальных типов мельниц $\alpha = 0,001$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с^2.

Обозначения β, m, h_1, h_2, λ_x, λ_1 – те же,что и в формулах 6.2.5, 6.2.6.

6.4.2 Амплитуды горизонтальных колебаний рамных фундаментов машин (например, мельниц) $a_{h,\psi}$, м, рассчитываемых на случайные динамические нагрузки, следует определять по формуле

$$a_{h,\psi} = a_x + a_{\psi} l_b, \qquad (73)$$

где l_b – расстояние от центра тяжести верхней части фундамента до оси наиболее удаленного подшипника мельницы, м;

a_x, a_ψ – амплитуды соответственно горизонтальных колебаний верхней части фундамента, м, и вращательных колебаний относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней части фундамента, рад, определяемые по формулам:

$$a_x = \frac{1}{S_x}\sqrt{\frac{\pi\lambda_x S_q}{2\xi'_x}}; \tag{74}$$

$$a_\psi = \frac{e}{S_\psi}\sqrt{\frac{\pi\lambda_\psi S_q}{2\xi'_\psi}}, \tag{75}$$

где S_q – определяется по формуле (70);

e – расстояние в плане от центра тяжести верхней части фундамента до середины длины барабана, м.

Обозначения S_x, S_ψ, λ_x, λ_ψ, ξ'_x, ξ'_ψ – те же, что и в формулах 6.2.1–6.2.4.

6.5 Расчет колебаний массивных и стенчатых фундаментов машин при кинематическом возбуждении

6.5.1 Амплитуду горизонтально-вращательных колебаний верхней грани фундамента-приемника при кинематическом возбуждении от одного фундамента-источника следует определять по формуле

$$a^{kin}_{h,\varphi} = a_{s,x}\sqrt{\frac{\left[\Phi_x + (h_1/h_2)\beta\Phi_\varphi\right]^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\left[\psi_x + (h_1/h_2)\beta\psi_\varphi\right]^2}{\Omega_1^2 + 4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\Omega_2^2}}, \tag{76}$$

где

$$\Phi_x = S_1(\kappa_1) - 4\xi_x^2\left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 S_2(\kappa_2);$$

$$\psi_x = S_2(\kappa_1) + S_1(\kappa_2); \tag{77}$$

$$\Phi_\varphi = S_3(\kappa_1) - 4\xi_x^2\left(\frac{\omega}{\lambda_x}\right)^2 S_4(\kappa_2);$$

$$\psi_\varphi = S_4(\kappa_1) + S_3(\kappa_2).$$

Значения $S_1(\kappa_k)$, $S_2(\kappa_k)$, $S_3(\kappa_k)$, $S_4(\kappa_k)$, для k = 1; 2 вычисляются по формулам (39) – (42) при значениях

$$\kappa_1 = \chi\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x} - 1;\ \kappa_2 = \chi\frac{\xi_\varphi}{\xi_x} - 1; \tag{78}$$

$$\chi = \pm h_2\frac{1+\beta}{\beta}\frac{\lambda_\varphi}{\lambda_x}\frac{a_{s,\varphi}}{a_{s,x}}. \tag{79}$$

Расчет следует выполнять для каждого из значений $\pm\chi$.

В формулах (76) – (79):

$a_{s,x}$ – амплитуда горизонтальных колебаний точек поверхности грунта в месте

установки фундамента-приемника от горизонтальных колебаний фундамента источника, определяемая в соответствии с указаниями 6.1.8;

$$a_{s,\varphi} = \frac{a_{s,z}^{(1)} - a_{s,z}^{(2)}}{l_{inf}}, \tag{80}$$

где $a_{s,z}^{(1)}$, $a_{s,z}^{(2)}$ – амплитуды вертикальных колебаний поверхности грунта в точках, соответствующим крайним точкам стороны фундамента-приемника l_{inf} от вертикальных колебаний фундамента источника, определяемые в соответствии с указаниями 6.1.8;

l_{inf} – размер стороны подошвы фундамента-приемника, в направлении которой рассматриваются горизонтальные колебания;

ω – угловая частота колебаний фундамента-источника.

Обозначения h_1, h_2, β, Ω_1, Ω_2, λ_φ, λ_x – те же, что в формулах 6.2.5.

6.5.2. Амплитуду вертикальных колебаний фундамента-приемника с учетом вращения при кинематическом возбуждении от одного фундамента-источника следует определять по формуле

$$a_v^{kin} = a_z^{kin} + a_z'^{kin}, \tag{81}$$

где

$$a_z^{kin} = a_{s,z}\sqrt{\frac{1+4\xi_z^2(\omega/\lambda_z)^2}{\left[1-(\omega/\lambda_z)^2\right]^2+4\xi_z^2(\omega/\lambda_z)^2}}; \tag{82}$$

$$a_z'^{kin} = \frac{\beta l_f a_{s,x}}{h_2}\sqrt{\frac{\Phi_\varphi^2+4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\psi_\varphi^2}{\Omega_1^2+4\xi_x^2(\omega/\lambda_x)^2\Omega_2^2}}; \tag{83}$$

$$a_{z,s} = \frac{a_{s,z}^{(1)} + a_{s,z}^{(2)}}{2}; \tag{84}$$

здесь λ_z, l_f – обозначения те же, что в 6.2.9.

При расчете колебаний фундамента-приемника от кинематического возбуждения нескольких фундаментов-источников следует суммировать значения $a_{h,\varphi}^{kin}$ (или a_v^{kin}), вычисляемые соответственно по формулам (76) или (81) для каждого источника колебаний.

6.6 Особенности расчета свайных фундаментов

6.6.1 Расчет свайных фундаментов машин с динамическими нагрузками по несущей способности грунтов основания свай следует производить на действие расчетных статических нагрузок в соответствии с требованиями СП 24.13330.

При этом расчетные сопротивления грунтов основания на боковой поверхности свай и под их нижним концом должны быть дополнительно умножены на коэффициенты условий работы грунта основания соответственно $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$, приведенные в таблице 6, а сумма расчетных сопротивлений грунтового основания для висячих свай – на коэффициент условий работы γ_{c0}, значения которого приведены в таблице 2. Для свай-стоек коэффициент γ_{c0} принимается равным 1.

Таблица 6

Грунты	Коэффициенты условий работы грунтов основания	
	на боковой поверхности сваи $\gamma_{cp,f}$	под нижним концом сваи $\gamma_{cp,R}$
а) Пески рыхлые любой крупности и влажности; мелкие и пылеватые водонасыщенные любой плотности; глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,6$	0,6 (0,75)	–
б) Пески пылеватые, мелкие и средней крупности средней плотности любой влажности, кроме указанных в поз. «а»; глинистые грунты с показателем текучести $0,25 \le I_L \le 0,6$	0,75 (0,85)	0,75 (0,85)
Другие виды грунтов	1 (1)	1 (1)

Примечания

1 В скобках указаны значения коэффициентов для свайных фундаментов с промежуточной подушкой.

2 При применении свай в просадочных грунтах значения коэффициентов $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$ принимаются как для глинистых грунтов с показателем текучести, равным значению, при котором в соответствии с указаниями СП 24.13330 определяются расчетные сопротивления грунта под нижним торцом и на боковой поверхности сваи.

В случае определения несущей способности свай по результатам полевых испытаний вместо коэффициентов $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$ вводится коэффициент условий работы грунтов основания γ_{cp}, определяемый как отношение несущей способности сваи, определенным расчетным способом с учетом коэффициентов $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$, к той же несущей способности без учета этих коэффициентов.

В случае опирания свай на грунты, указанные в поз. «а» таблицы 6, несущую способность свай следует определять по результатам полевых испытаний длительно действующими динамическими нагрузками. При отсутствии таких данных при соответствующем обосновании допускается определять несущую способность свай по результатам полевых испытаний в соответствии с требованиями СП 24.13330 с введением вместо коэффициентов $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$ коэффициента $\gamma_{cp} = 0,25$.

6.6.2. При устройстве свайных фундаментов зданий и сооружений, расположенных вблизи фундаментов машин с динамическими нагрузками, несущая способность свай определяется в соответствии с требованиями СП 24.13330 с учетом дополнительного коэффициента условий работы грунтов основания γ_{cp} (или $\gamma_{cp,f}$ и $\gamma_{cp,R}$), значения которых определяются в соответствии с 6.6.1. Размеры зоны, для которой учитывается указанный коэффициент, следует принимать в соответствии с указаниями 5.2.23.

6.6.3 Расчет колебаний свайных фундаментов машин следует производить по тем же формулам, что и для фундаментов на естественном основании, но при введении вместо значений массы, моментов инерции массы и жесткостей m, θ_φ, $\theta_{\varphi 0}$, θ_ψ, K_z, K_x, K_φ, K_ψ соответствующих им приведенных значений m_{red}, $\theta_{\varphi,red}$, $\theta_{\varphi 0,red}$, $\theta_{\psi,red}$, $K_{z,red}$, $K_{x,red}$, $K_{\varphi,red}$ $K_{\psi,red}$, определяемых по формулам (85) – (100).

Для вертикальных колебаний свайных фундаментов

$$m_{z,red} = m_r + \beta_z^* \sum_{i=1}^{N} m_{i,p} + \sum_{i=1}^{N} m_{i,0}; \qquad (85)$$

$$K_{z,red} = \frac{K^*_{z,red}}{1 + \frac{K^*_{z,red} l_0}{NE_b A_p}}, \quad (86)$$

где

$$K^*_{z,red} = NE_b A_p \bar{\beta} \frac{\bar{\beta}\,\mathrm{th}(\bar{\beta} l) + \alpha}{\bar{\beta} + \alpha\,\mathrm{th}(\bar{\beta} l)}; \quad (87)$$

$$\bar{\beta} = \sqrt{\frac{c_{p,m} u}{E_b A_p}}; \quad \alpha = \frac{C^*_z}{E_b};$$

$$c_{p,m} = \frac{\sum_{k=1}^{k_l} c_{p,k} l_k}{l}; \quad \beta^*_z = k^* \frac{\sum_{k=1}^{k_{l^*}} c_{p,k} l_k}{c_0 l}.$$

В формулах (85) – (87):

m_r – общая масса ростверка с установленной на нем машиной, т;

$m_{i,p}$ – масса части i-й сваи, заглубленной в грунт, т;

$m_{i,0}$ – масса части i-й сваи выше поверхности грунта, т;

N – число свай;

E_b – модуль упругости материала свай, кПа;

l – глубина погружения сваи в грунт, м;

l_0 – расстояние от подошвы ростверка до поверхности грунта, м; для низкого ростверка $l_0 = 0$;

A_p – площади поперечного сечения сваи, м^2;

u – периметр поперечного сечения сваи, м;

C^*_z – коэффициент упругого равномерного сжатия грунта на уровне нижних концов свай, кН/м^3, определяемый по формуле (5), в которой площадь подошвы фундамента A принимается равной площади наибольшего поперечного сечения нижнего конца сваи, а значение коэффициента b_0 для забивных свай удваивается;

k^* – коэффициент, принимаемый равным для свай: 2 – для сплошных железобетонных; 2,5 – для полых железобетонных; 3,5 – для деревянных;

$c_{p,k}$ – удельное упругое сопротивление грунта на боковой поверхности сваи в k-м слое, принимаемое по таблицам 7 и 8;

c_0 – коэффициент, принимаемый равным 10000 кН/м^3;

k_l и k_{l^*} – номер слоя грунта, отсчитываемый от поверхности грунта до глубины, равной соответственно l и $l^* = 0{,}2\,[1 + 4\mathrm{th}(10/l)]l$;

l_k – толщина k-го слоя грунта;

th – тангенс гиперболический.

Примечание – При уменьшении расстояния между сваями от $5d$ до $2d$ значение $K_{z,red}$ следует уменьшать в два раза (для промежуточных расстояний определять интерполяцией).

Таблица 7

Показатель текучести глинистых грунтов I_L	Удельное сопротивление c_p, кН/м^3
$0,75 < I_L \le 1$	$1,5 \cdot 10^4 - 0,5 \cdot 10^4$
$0,5 < I_L \le 0,75$	$3 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^4$
$0,25 < I_L \le 0,5$	$4,5 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4$
$0 < I_L \le 0,25$	$6 \cdot 10^4 - 4,5 \cdot 10^4$

Примечания

1 Для промежуточных значений I_L значение c_p определяется интерполяцией.

2 Для просадочных грунтов значения удельного упругого сопротивления c_p следует определять как для глинистых грунтов с показателями текучести I_L, соответствующим природной влажности или с учетом возможного замачивания в соответствии с требованиями СП 24.13330.

Таблица 8

Пески	Удельное упругое сопротивление c_p,кН/м^3, грунтов различной влажности		
	водонасыщенных	влажных	маловлажных
Средней крупности:			
рыхлые	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$
средней плотности	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
Мелкие:			
рыхлые	$1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$
средней плотности	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
Пылеватые:			
рыхлые	$0,5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
средней плотности	$1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$

Примечание – Удельное упругое сопротивление для плотных песчаных грунтов следует принимать на 50 % выше, чем наибольшее из значений c_p, указанных в таблице 8 для данного вида грунта.

Для горизонтальных колебаний свайных фундаментов

$$m_{x,red} = m_r + \beta_x^* \sum_{i=1}^{N} m_{i,p} + \sum_{i=1}^{N} m_{i,0}; \tag{88}$$

$$\beta_x^* = 0,25\beta_z^*; \tag{89}$$

$$K_{x,red} = \frac{N\bar{\alpha}^3 E_b I}{p}, \tag{90}$$

где I – момент инерции площади поперечного сечения сваи, м^4;

$\bar{\alpha}$ – коэффициент упругой деформации системы «свая-грунт», определяемый по формуле

$$\bar{\alpha} = 2\alpha_\varepsilon, \tag{91}$$

здесь α_ε – коэффициент деформации, определяемый в соответствии с указаниями СП 24.13330 при $\gamma_c = 3$.

Для свай, шарнирно сопряженных с ростверком,

$$p = A_0 + 2B_0 l_0 \bar{\alpha} + C_0 (l_0 \bar{\alpha})^2 + \frac{(l_0 \bar{\alpha})^3}{3}. \tag{92}$$

Для свай, защемленных в ростверк,

$$p = A_0 + \frac{1}{C_0 + l_0\bar{\alpha}}\left\{B_0\left[(l_0\bar{\alpha})^2 - B_0\right] + \frac{(l_0\bar{\alpha})^3}{3}\left(C_0 + \frac{l_0\bar{\alpha}}{4}\right)\right\}. \quad (93)$$

В формулах (92), (93):

A_0, B_0, C_0 – коэффициенты, зависящие от приведенной глубины погружения сваи $\bar{l} = \bar{\alpha}l$ и условий опирания ее нижнего конца (определяются по указаниям СП 24.13330).

Для горизонтально-вращательных колебаний свайных фундаментов

$$m_{\varphi,red} = m_{x,red}; \quad (94)$$

$$\theta_{\varphi,red} = \theta_{\varphi,r} + \beta_z^* \sum_{i=1}^{N} m_{i,p} r_{h,i}^2 + \sum_{i=1}^{N} m_{i,0} r_{h,i}^2; \quad (95)$$

$$\theta_{\varphi 0,red} = \theta_{\varphi,red} + h_2^2 m_r; \quad (96)$$

$$K_{\varphi,red} = \frac{K_{z,red}}{N} \sum_{i=1}^{N} r_{h,i}^2. \quad (97)$$

В формулах (95)–(97):

$\theta_{\varphi,r}$ – момент инерции массы ростверка и машины относительно горизонтальной оси, проходящей через их общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, т·м^2;

h_2 – расстояние от центра тяжести массы m_r до подошвы ростверка, м;

$r_{h,i}$ – расстояние от оси i-й сваи до горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний.

Для вращательных колебаний свайного фундамента относительно вертикальной оси

$$m_{\psi,red} = m_{x,red}; \quad (98)$$

$$\theta_{\psi,red} = \theta_{\psi,r} + \beta_x^* \sum_{i=1}^{N} m_{i,p} r_{v,i}^2 + \sum_{i=1}^{N} m_{i,0} r_{v,i}^2; \quad (99)$$

$$K_{\psi,red} = \frac{K_{x,red}}{N} \sum_{i=1}^{N} r_{v,i}^2. \quad (100)$$

В формулах (99), (100):

$\theta_{\psi,r}$ – момент инерции массы ростверка и машины относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести ростверка, т·м^2;

$r_{v,i}$ – расстояние от оси i-й сваи до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести ростверка, м.

6.6.4 Относительное демпфирование для свайных фундаментов следует определять, как правило, по результатам испытаний. При отсутствии экспериментальных данных относительное демпфирование ξ_z при вертикальных колебаниях свайных фундаментов допускается принимать равным 0,2 для установившихся колебаний и 0,5 для неустановившихся колебаний. Значения ξ_x, ξ_φ, ξ_ψ определяются по формулам (15) – (17).

6.7 Особенности расчета колебаний фундаментов машин на многолетнемерзлых грунтах

6.7.1 Расчет вертикальных и горизонтальных колебаний массивных и стенчатых фундаментов и вертикальных колебаний рамных фундаментов на естественном основании, а также вертикальных колебаний свайных фундаментов для машин с вращающимися частями, с кривошипно-шатунными механизмами, дробильных и мельничных установок, возводимых на твердомерзлых грунтах, используемых по принципу I, производить не следует.

Расчет горизонтальных колебаний рамных фундаментов указанных типов машин в этих условиях следует производить в соответствии с указаниями подразделов 6.2 и 6.4.

6.7.2 Расчет вертикальных колебаний фундаментов (в том числе свайных) машин с импульсными нагрузками в твердомерзлых грунтах, используемых по принципу I, а также фундаментов машин всех типов в пластичномерзлых грунтах следует производить как на немерзлых грунтах в соответствии с требованиями, изложенными в соответствующих разделах для разных типов машин; при этом коэффициенты жесткости оснований фундаментов следует определять по данным результатов полевых испытаний грунтов.

6.7.3 Расчет амплитуд горизонтальных колебаний свайных фундаментов машин с периодическими и случайными динамическими нагрузками, возводимых на твердомерзлых грунтах, используемых по принципу I, следует производить в соответствии с указаниями подразделов 6.2 и 6.4. При этом коэффициенты жесткости конструкции фундамента S_x и S_ψ следует определять по формулам:

$$S_x = \sum_{i=1}^{N} S_i'; \tag{101}$$

$$S_\psi = \sum_{i=1}^{N} S_i' r_{v,i}^2. \tag{102}$$

В формулах (101), (102):

S_i' – коэффициент жесткости i-й сваи с жесткой заделкой в ростверк в горизонтальном направлении, кН/м, $S_i' = 12E_bI_i / l_d^3$;

I_i – момент инерции площади поперечного сечения i-й сваи, м^4;

l_d – расчетная длина сваи, м, $l_d = l_0 + H + 3d$;

H – величина, изменяющаяся в пределах $0 \le H \le H_0$, принимаемая для наиболее неблагоприятного случая при расчете на колебания;

l_0 и H_0 – соответственно расстояние от нижней грани плиты фундамента до поверхности грунта, м, и толщина сезонно оттаивающего слоя, м, определяемая в соответствии с указаниями СП 25.13330;

d – диаметр или сторона поперечного сечения сваи в направлении действия динамической нагрузки, м;

$r_{v,i}$ – расстояние от центра тяжести ростверка до оси i-й сваи, м.

6.7.4 Расчет колебаний фундаментов машин, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, используемых по принципу II, следует выполнять как на немерзлых грунтах в соответствии с требованиями, изложенными в разделах для разных типов машин.

7 Особенности расчета и проектирования фундаментов различных видов машин

7.1 Фундаменты машин с вращающимися частями

7.1.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов турбомашин (энергетических, нефте- и газоперекачивающих турбоагрегатов мощностью до 100 тыс. кВт, турбокомпрессоров, турбовоздуходувок, турбонасосов), электрических машин (электродвигателей, мотор-генераторов и синхронных компенсаторов), центрифуг, центробежных насосов, дымососов, вентиляторов и тому подобных машин.

Проектирование турбомашин мощностью более 100 тыс. кВт следует выполнять по указаниям специальных нормативных документов.

7.1.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов машин, указанных в 7.1.1, кроме материалов, перечисленных в подразделе 5.1, должны входить:

данные о значениях нагрузок от момента короткого замыкания в электрических машинах и от тяги вакуума в конденсаторах паровых турбин, координаты точек их приложения и размеры площадок передачи этих нагрузок; данные о нагрузках, возникающих при тепловых деформациях машин;

схемы расположения и нагрузки от вспомогательного оборудования (масло- и воздухоохладителей, масляных баков, насосов, трубопроводов и др.);

схемы площадок, опирающихся на фундамент, и данные о нормативных значениях нагрузок от них;

данные для определения монтажных нагрузок, размеры площадок передачи этих нагрузок.

Примечание – При проектировании фундаментов турбоагрегатов мощностью 25 тыс. кВт и более показатели физико-механических свойств грунтов должны определяться на основе непосредственных испытаний в полевых или лабораторных условиях.

7.1.3 Фундаменты машин с вращающимися частями следует проектировать рамными, стенчатыми, массивными или облегченными.

При выборе конструктивной схемы фундамента следует руководствоваться требованиями, содержащимися в 5.2.10 – 5.2.13; при этом следует соблюдать симметрию фундамента относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось вала машины.

Стенчатые фундаменты следует проектировать преимущественно с поперечными стенами, расположенными под подшипниками машины.

7.1.4 Центробежные насосы, агрегируемые на заводе-изготовителе при помощи железобетонных опорных плит с электродвигателями или двигателями внутреннего сгорания мощностью до 400 кВт, допускается устанавливать без фундамента на подстилающий слой пола. Для агрегатов с двигателями мощностью до 50 кВт железобетонные опорные плиты устанавливаются на подстилающий слой пола без специального закрепления на подливку из песчано-цементного раствора толщиной 30–50 мм. Для агрегатов с двигателями мощностью свыше 50 кВт крепление железобетонной опорной плиты к подстилающему слою пола должно осуществляться фундаментными болтами.

7.1.5 Фундаменты турбоагрегатов мощностью 25 тыс. кВт и более, не имеющие виброизоляции, не допускается опирать на пески рыхлые любой крупности и влажности, мелкие и пылеватые водонасыщенные любой плотности, глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,6$, а также на грунты с модулем деформации менее 10 МПа и грунты, подверженные в водонасыщенном состоянии суффозии.

7.1.6 На нижние плиты (или ростверки) рамных фундаментов машин, указанных в 7.1.1, допускается опирать стойки площадок обслуживания машин и перекрытия над подвалом.

В случае устройства под всем машинным залом общей фундаментной плиты допускается непосредственно на этой плите возводить фундаменты машин.

Элементы верхнего строения фундаментов не допускается связывать с элементами и конструкциями здания.

Примечание – В виде исключения на элементы верхнего строения фундаментов машин допускается опирать вкладные участки перекрытия. В этом случае под опорами балок перекрытия необходимо предусматривать изолирующую прокладку, например, из фторопласта или других подобных материалов. Такие прокладки следует предусматривать также под опорами перекрытий и площадок обслуживания, установленных на стойках, опертых на нижние плиты (ростверка) фундаментов машин.

7.1.7 Нормативные динамические нагрузки (вертикальные $F_{n,v}$ и горизонтальные $F_{n,h}$), кН, от машин с вращающимися частями следует принимать по данным задания на проектирование, а при отсутствии этих данных допускается принимать равными:

$$F_{n,v} = F_{n,h} = \mu \sum_{i=1}^{s} G_i, \qquad (103)$$

где μ – коэффициент пропорциональности, устанавливаемый по таблице 9;

s – число роторов;

G_i – вес каждого ротора машины, кН.

Таблица 9

Машины	Коэффициент пропорциональности μ
Турбомашины	0,2
Электрические машины с частотой вращения n_r, об/мин:	
менее 500	0,1
от 500 до 750	0,1–0,15
от 750 до 1500	0,15–0,2
свыше 1500	0,2
Центрифуги (d – диаметр ротора, м)	$\left(\frac{n_r}{1000}\right)^2 d$
Центробежные насосы	0,15
Дымососы и вентиляторы	$0,8\left(\frac{n_r}{1000}\right)^2$, но не менее 0,2

7.1.8 Динамические нагрузки от машин, соответствующие максимальному динамическому воздействию машины на фундамент, следует принимать сосредоточенными или распределенными и приложенными к элементам,

поддерживающим подшипники (к ригелям, балкам, стенам) на уровне осей закладных деталей.

7.1.9 Для фундаментов турбомашин расчетную динамическую нагрузку в продольном горизонтальном направлении следует принимать по данным задания на проектирование, а при отсутствии этих данных допускается принимать равной 0,5 значения той же нагрузки в поперечном горизонтальном направлении; для остальных машин с вращающимися частями продольную нагрузку следует принимать равной нулю.

7.1.10 Нормативные нагрузки на фундаменты турбомашин, соответствующие моменту короткого замыкания $M_{n,sc}$, кН·м, и тяги вакуума в конденсаторе при гибком присоединении конденсатора $F_{n,vac}$, кН, следует принимать по заданию на проектирование или определять по формулам:

$$M_{n,sc} = 9,75\frac{N}{n_r}k_{sc}, \tag{104}$$

$$F_{n,vac} = 100a. \tag{105}$$

В формулах (104), (105):

N – номинальная мощность электрической машины, кВт;

n_r – частота вращения машины, об/мин;

k_{sc} – коэффициент кратности вращающего момента при коротком замыкании, принимаемый по заданию на проектирование; в случае отсутствия в задание на проектирование допускается принимать равным 10;

100 – усилие тяги вакуума на 1 м^2 сечения трубопровода, кН/м^2;

a – площадь поперечного сечения соединительной горловины конденсатора с турбиной, м^2.

7.1.11 При определении расчетных значений усилий в элементах фундаментов машин с вращающимися частями в каждое отдельное сочетание следует включать только одну из нагрузок, соответствующих динамическому воздействию машины: вертикальную силу и момент в вертикальной плоскости или горизонтальную силу и соответствующие ей моменты в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Нагрузка от тяги вакуума в конденсаторе учитывается в сочетаниях нагрузок как длительная статическая с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$.

Сочетание, в которое входит момент короткого замыкания M_{sc}, является особым.

7.1.12 Нормативную монтажную нагрузку на верхней плите фундамента следует принимать по заданию на проектирование, но не менее 10 кН/м^2; ее следует умножать на коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$ и коэффициент динамичности $\eta = 1$.

7.1.13 Расчет колебаний фундаментов всех видов машин с вращающимися частями сводится к определению максимальной амплитуды горизонтальных (поперечных) колебаний верхней плиты (для рамных фундаментов) или верхней грани фундамента (для массивных и стенчатых фундаментов); расчет следует производить в соответствии с указаниями подразделов 6.1 и 6.2. Расчет амплитуд вертикальных колебаний при отсутствии требований технического задания, как правило, не производится.

7.1.14. При расчетах колебаний значения расчетных динамических нагрузок следует определять на основании 5.2.21 и 7.1.7.

7.1.15 Для массивных и стенчатых фундаментов машин с вращающимися частями с частотой вращения более 1000 об/мин расчет колебаний допускается не производить.

7.1.16 Расчет колебаний опорной плиты агрегируемого оборудования производится как для массивных фундаментов. При этом в массу фундамента следует включать массу оборудования, опорной плиты и массу подстилающего слоя пола непосредственно под плитой и в примыкающей зоне на расстоянии 0,5 м от граней плиты.

В случае необходимости ограничения распространения колебаний от оборудования, смонтированного на железобетонных опорных плитах, в подстилающем слое пола следует устраивать сквозной шов.

7.1.17 При наличии в задании на проектирование фундамента технологических требований, ограничивающих перемещения и деформации фундамента из условий сохранения взаимного положения элементов машины и связанного с ней оборудования для обеспечения нормальной их эксплуатации, толщина нижней плиты фундамента определяется расчетом по деформациям в соответствии с указаниями приложения В. В этом случае эксцентриситет центра тяжести площади подошвы фундамента и линии действия равнодействующей статических нагрузок (см. 5.2.7) не нормируется при следующих дополнительных условиях: величины краевых давлений при внецентренном загружении фундамента не превосходят правой части формулы (1) более чем на 25 %; расчет колебаний ведется с учетом эксцентриситета.

7.2 Фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами

7.2.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами, имеющих неуравновешенные силы и моменты, в том числе дизелей, поршневых компрессоров, мотор-компрессоров, лесопильных рам, локомобилей и т.п.

7.2.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов машин, указанных в 7.2.1, кроме материалов, перечисленных в подразделе 5.1, должны входить:

значения равнодействующих неуравновешенных (возмущающих) сил и моментов первой и второй гармоник от всех частей, места приложения сил и плоскости действия моментов;

расстояние от оси главного вала машины до верхней грани фундамента.

7.2.3 Фундаменты машин с кривошипно-шатунными механизмами следует проектировать массивными или стенчатыми, а в отдельных случаях для машин с вертикально расположенными кривошипно-шатунными механизмами допускается также предусматривать устройство рамных фундаментов.

7.2.4 Компрессоры, агрегируемые на заводе-изготовителе при помощи железобетонных опорных плит с электродвигателями или двигателями внутреннего сгорания мощностью до 400 кВт, допускается устанавливать без фундаментов на подстилающий слой пола. Расчет колебаний и крепление железобетонной опорной плиты к подстилающему слою пола должны осуществляться с учетом требований 7.1.4 и 7.1.16.

7.2.5 На фундаменты машин допускается свободно опирать отдельные площадки и стойки, а также вкладные участки перекрытий между смежными фундаментами, не соединенные с конструкциями зданий.

Примечание – Опирание элементов конструкций здания на фундаменты машин допускается в виде исключения при наличии обоснования.

7.2.6 Расчет прочности элементов конструкций фундаментов следует производить с учетом требований 5.2.20 и 5.2.21, причем в формуле (2) следует принимать F_n – нормативную динамическую нагрузку, соответствующую наибольшей амплитуде первой или второй гармоники возмущающих нагрузок машины, устанавливаемой в задании на проектирование.

7.2.7 При определении амплитуд колебаний фундаментов горизонтальных машин расчет допускается ограничивать только вычислением амплитуды колебаний в направлении, параллельном скольжению поршней, и не учитывать влияние вертикальной составляющей возмущающих сил.

При расчете амплитуд колебаний фундаментов вертикальных машин допускается:

расчет амплитуд горизонтальных колебаний ограничить только для направления, перпендикулярного главному валу машины;

расчет амплитуд вертикальных колебаний производить только с учетом влияния вертикальной составляющей возмущающих сил.

Для фундаментов машин с угловым расположением цилиндров расчет амплитуд вынужденных колебаний следует производить с учетом как вертикальной, так и горизонтальной составляющей возмущающих сил и моментов машины для плоскости фундамента, перпендикулярной главному валу машины.

7.2.8 Расчет колебаний фундаментов машин с кривошипно-шатунными механизмами следует производить в соответствии с указаниями подраздела 6.2, причем значения нормативных возмущающих сил первой или второй гармоники следует принимать по заданию на проектирование.

7.2.9 В случае, если из двух гармоник возмущающих сил и моментов одна составляет менее 20 % другой и ее частота отличается более чем на 25 % от собственной частоты колебаний фундамента, то при расчете амплитуд вынужденных колебаний ее не учитывают; в остальных случаях расчет амплитуд следует производить для каждой из первых двух гармоник возмущающих сил и моментов. При этом расчетные значения амплитуд колебаний фундамента для каждой гармоники не должны превышать предельно допустимых значений, приведенных в таблице 5.

7.2.10 Для второй гармоники возмущающих сил и моментов значения амплитуд горизонтальных и вертикальных колебаний $a_{h,\varphi}$ и a_v следует определять по тем же формулам, что и для первой гармоники, заменив в формулах значение угловой частоты вращения машины ω на 2ω.

7.3 Фундаменты кузнечных молотов

7.3.1 В состав исходных данных для проектирования фундаментов кузнечных молотов, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

чертежи габаритов молота с указанием типа молота (штамповочный, ковочный) и его марки;

номинальная и действительная (с учетом массы верхней половины штампа) масса падающих частей; высота их падения;

масса шабота и станины;

размеры подошвы шабота и отметки ее относительно пола цеха, а также размеры опорной плиты станины;

значение коэффициента восстановления скорости удара при штамповке изделий из цветных металлов или их сплавов;

внутренний диаметр цилиндра и рабочее давление пара или воздуха (или энергия удара).

7.3.2 Фундаменты молотов следует проектировать в виде жестких плит или монолитных блоков. Для молотов с массой падающих частей до 3 т включительно допускается устройство одного общего фундамента под несколько молотов при их расположении на одной линии.

7.3.3 Толщина подшаботной части фундамента должна быть не менее указанной в таблице 10.

Таблица 10

Номинальная масса падающих частей молота m_0, т	Толщина подшаботной части фундамента, м, не менее	Число арматурных сеток в верхней части фундамента
$m_0 \le 1$	1	2
$1 < m_0 \le 2$	1,25	3
$2 < m_0 \le 4$	1,75	3
$4 < m_0 \le 6$	2,25	4
$6 < m_0 \le 10$	2,6	5
$m_0 > 10$	Свыше 3	Свыше 5

7.3.4 Фундаменты кузнечных молотов должны иметь конструктивное армирование в соответствии с требованиями 5.2.14.

Верхнюю часть фундамента, примыкающую к подшаботной прокладке, следует армировать горизонтальными сетками с квадратными ячейками размерами 100×100 мм из стержней диаметром 10–12 мм; сетки следует располагать рядами с расстоянием между ними по вертикали 100–120 мм в количестве, принимаемом по таблице 10 и зависящем от массы падающей части молота m_0.

Часть фундаментов ковочных молотов, расположенную под подошвой станины молота, следует армировать горизонтальными сетками с квадратными ячейками из стержней диаметром 12–16 мм с шагом в продольном и поперечном направлениях 200–300 мм. Аналогичные арматурные сетки следует устанавливать у граней выемки для шабота всех видов кузнечных молотов, причем вертикальные стержни этих сеток необходимо доводить до подошвы фундамента.

7.3.5 Деревянные подшаботные прокладки следует изготавливать из дубовых брусьев; для молотов с массой падающих частей до 1 т подшаботную прокладку допускается изготовлять из лиственницы или сосны.

Деревянные прокладки следует предусматривать из пиломатериалов 1-го сорта по ГОСТ 2695 и ГОСТ 8486.

При обосновании расчетом и по согласованию с заводом – изготовителем машины допускается заменять деревянные подшаботные прокладки на резинотканевые.

7.3.6 Амплитуды вертикальных колебаний фундаментов молотов при центральной установке a_z, м, следует определять по формуле (62), в которой импульс вертикальной силы J_z, кН·с, определяется по формуле

$$J_z = m_0 v, \qquad (106)$$

где m_0 – масса падающих частей молота, т;

v – скорость падающих частей молота в начале удара, м/с, принимаемая по

заданию на проектирование или, при отсутствии таких данных, определяемая по формулам:

для молотов, свободно падающих (фрикционных и одностороннего действия),

$$v = 0,9\sqrt{2gh_0}; \tag{107}$$

для молотов двойного действия

$$v = 0,65\sqrt{2gh_0\left(\frac{p_m A_p}{m_0 g}+1\right)} \tag{108}$$

или

$$v = \sqrt{\frac{2E_{sh}}{m_0}}. \tag{109}$$

В формулах (107)–(109):

h_0 – рабочая высота падения ударяющих частей молота, м;

A_p – площадь поршня в цилиндре, м^2;

p_m – среднее давление пара или воздуха, кПа;

E_{sh} – энергия удара, кДж;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$м/с^2.

Коэффициент восстановления скорости удара ε в формуле (62) следует принимать: при штамповке стальных изделий для молотов штамповочных ε = 0,5; для ковочных молотов ε = 0,25; при штамповке изделий из цветных металлов и их сплавов коэффициент ε следует принимать по заданию на проектирование.

7.3.7 Амплитуду вертикальных колебаний фундамента при установке молота с эксцентриситетом следует определять по формулам (63) – (65), в которых значение ε – то же, что в 7.3.6, а значение импульса момента J_φ определяется по формуле

$$J_\varphi = J_z e, \tag{110}$$

где e – эксцентриситет удара, м.

При устройстве общей плиты под несколько молотов в соответствии с 7.3.2 и при нескольких отдельно стоящих фундаментах в цехе амплитуды вертикальных колебаний фундамента следует определять с учетом указаний 6.1.7.

7.3.8 Для уменьшения колебаний фундаментов молотов и вредного влияния их на обслуживающий персонал, технологические процессы, вблизи расположенное оборудование и конструкции зданий и сооружений следует, как правило, предусматривать виброизоляцию фундаментов молотов.

Применение виброизоляции является обязательным для фундаментов молотов с массой падающих частей 1 т и более, если основания фундаментов молотов и несущих строительных конструкций зданий кузнечного цеха сложены мелкими и пылеватыми водонасыщенными песками.

7.3.9 Сумма статического и динамического давлений на подшаботную прокладку не должна превышать расчетного сопротивления древесины при сжатии поперек волокон.

Расчетное динамическое давление на подшаботную прокладку σ, кПа, вычисляется по формуле

$$\sigma = 1,6 m_0 v \sqrt{\frac{E_w}{m_1' A_1 t}}, \qquad (111)$$

где E_w – модуль упругости материала подшаботной прокладки, кПа;

m_1' – суммарная масса шабота и станины для штамповочных молотов и масса шабота для ковочных молотов, т;

A_1 – опорная площадь шабота, м^2;

t – толщина прокладки, м.

7.4 Фундаменты формовочных машин литейного производства

7.4.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов формовочных (встряхивающих) машин литейного производства с вертикально направленными ударными нагрузками.

7.4.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов формовочных машин литейного производства, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

нормативные статические нагрузки, передаваемые на фундамент основными механизмами (встряхивающим, поворотным, приемным и пр.), и точки приложения этих нагрузок;

грузоподъемность машин (суммарная масса опоки и формовочной смеси), масса падающих частей и станины встряхивающего механизма;

рабочая высота падения встряхивающих (падающих) частей машины;

размеры в плане, толщина и материал надфундаментной упругой прокладки.

7.4.3 Для устройства надфундаментной упругой прокладки следует предусматривать брусья из дуба и листовую резину. Для встряхивающих формовочных машин грузоподъемностью менее 5 т допускается применение брусьев из лиственницы или сосны.

Деревянные брусья следует изготовлять из древесины, отвечающей требованиям, указанным в 7.3.5.

7.4.4 Фундаменты формовочных машин литейного производства следует проектировать, как правило, железобетонными массивными.

Высота фундамента под встряхивающим механизмом и расстояние от дна каналов, тоннелей и выемок до подошвы фундамента должны быть не менее указанных в таблице 11.

Таблица 11

Грузоподъемность машины m_c, т	Высота фундамента под встряхивающим механизмом, м, не менее	Расстояние от дна каналов, тоннелей и выемок до подошвы фундамента, м, не менее
$m_c \le 1,5$	1	0,2
$1,5 < m_c \le 2,5$	1,25	0,3
$2,5 < m_c \le 5$	1,5	0,4
$5 < m_c \le 10$	1,8	0,5
$10 < m_c \le 20$	2	0,7
$m_c > 20$	2,25	0,9

7.4.5 Армирование фундаментов формовочных машин и их отдельных элементов необходимо производить в соответствии с требованиями, приведенными в 5.2.14, с учетом следующих указаний.

Верхнюю часть фундамента непосредственно под станиной встряхивающего механизма следует армировать горизонтальными сетками, число которых назначается в зависимости от грузоподъемности механизма, т:

до 5	1–2 сетки
от 5 до 15	2–3 сетки
св. 15	3–4 сетки

Наружные железобетонные стены, ограждающие формовочную машину, следует армировать двойными сетками, используя в качестве вертикальной арматуры стержни диаметром 12–14 мм при грузоподъемности машин до 15 т и диаметром 16–20 мм при большей грузоподъемности. В качестве продольной арматуры следует предусматривать стержни диаметром 10–12 мм с шагом соответственно 300–400 мм. Сетки следует соединять между собой поперечными стержнями диаметром 10–12 мм через 600–800 мм в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Наружные боковые грани фундамента следует армировать арматурными сетками, выполненными для фундаментов объемом 80 м^3 и менее с вертикальными стержнями диаметром 12–14 мм и шагом 200 мм, а для фундаментов объемом более 80 м^3 – диаметром 16–20 мм с тем же шагом.

7.4.6 Формовочные машины с поворотно-перекидным механизмом следует располагать на фундаменте, как правило, обращенными поворотно-перекидным механизмом в сторону строительных конструкций.

7.4.7 Амплитуды вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин следует определять в зависимости от соотношения угловой частоты ω, с$^{-1}$, свободных вертикальных колебаний подвижных частей машины на упругой надфундаментной прокладке и угловой частоты λ'_z, с$^{-1}$, свободных вертикальных колебаний всей установки на грунте, определяемых по формулам:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_0 + m_1}}; \tag{112}$$

$$\lambda'_z = \sqrt{\frac{K_z}{m'}}, \tag{113}$$

где k – суммарный коэффициент жесткости упругой надфундаментной прокладки, кН/м, определяемый по формуле

$$k = \frac{A_1 E_w E_r}{t_r E_w + t_w E_r},$$

здесь A_1 – площадь станины встряхивающего механизма, м^2;

E_w – модуль упругости деревянной прокладки, кПа;

E_r – модуль упругости резиновой прокладки, принимаемый в зависимости от твердости по ГОСТ 263;

t_r – толщина резиновой прокладки, м;

t_w – толщина деревянной прокладки, м;

m' – масса установки, т, определяемая по формуле

$$m' = m_0 + m_1 + m; \qquad (114)$$

m_0 – суммарная масса падающих частей машины, включая массу опоки и формовочной смеси, т;

m_1 – масса станины встряхивающего механизма, т;

m – общая масса фундамента, неподвижных частей машины и грунта над обрезами фундамента, т.

При условии $\omega > 0{,}7\lambda'_z$ амплитуды вертикальных колебаний a_z и a_v фундаментов формовочных машин следует определять по формулам (62)–(65), в которых ε – коэффициент восстановления скорости удара, принимаемый равным нулю; J_z – импульс вертикальной силы, кН·с, определяемый по формуле (106); J_φ – импульс момента сил относительно горизонтальной оси, кН·с·м, определяемый по формуле (110); v – скорость падающих частей формовочной машины, м/с, определяемая по формуле (107), в которой h_0 – рабочая высота падения встряхивающих частей машины, м.

Вместо значений λ_z и m в формуле (62) следует принимать значения соответственно λ'_z и m', вычисленные по формулам (113) и (114), а вместо значений λ_φ и $\theta_{\varphi 0}$ в формуле (65) – значения λ'_φ и $\theta'_{\varphi 0}$; значение λ'_φ определяется по формуле

$$\lambda'_\varphi = \sqrt{\frac{K_\varphi}{\theta'_{\varphi 0}}}, \qquad (115)$$

где $\theta'_{\varphi 0}$ – момент инерции массы всей установки, включая массу подвижных частей, относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, т·м^2.

При условии $\omega \le 0{,}7\lambda'_z$ амплитуду вертикальных колебаний a_v фундаментов формовочных машин следует определять по формуле (54), в которой a_z – амплитуда вертикальных колебаний общего центра тяжести фундамента и неподвижных частей машины, определяемая по формуле (55); a'_z – амплитуда вертикальной составляющей вращательных колебаний фундамента и неподвижных частей машины относительно горизонтальной оси, проходящей через их общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний. Для фундаментов машин с центральным приложением динамической нагрузки (встряхивающие столы и формовочные машины со штифтовым съемом) $a'_z = 0$. В случае приложения динамической нагрузки с эксцентриситетом (формовочные машины с поворотно-перекидным механизмом) a'_z определяется по формуле (57).

В формулах (55) и (57) динамическую нагрузку на фундамент формовочной машины F_v, кН, следует вычислять по формуле

$$F_v = m_0 v \sqrt{\frac{k}{m_0 + m_1}}, \qquad (116)$$

а вместо угловой частоты вращения машины ω следует принимать угловую частоту свободных вертикальных колебаний подвижных частей машины на упругой надфундаментной прокладке, определяемую по формуле (112).

Для уменьшения вращательных колебаний фундаментов формовочных машин с поворотно-перекидным механизмом эксцентриситет приложения динамической

нагрузки следует ограничивать до 5–10 % размера стороны подошвы фундамента, в направлении которой происходит смещение точки приложения ударной нагрузки.

Эксцентриситет в расположении центра тяжести фундамента машины и центра тяжести подошвы фундамента может достигать 15 % размера стороны подошвы фундамента, в направлении которой происходит смещение центра тяжести фундамента в случае смещения центра тяжести подошвы в сторону приложения динамической нагрузки.

7.4.8 Расчетное значение амплитуды вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин должно удовлетворять условию (4).

Амплитуду вертикальных колебаний фундаментов формовочных машин с поворотно-перекидным механизмом, определенную для торцовых граней фундамента, допускается увеличивать на 20 %.

7.4.9 При основании, сложенном мелкими или пылеватыми водонасыщенными песками, для машин грузоподъемностью 10 т и более следует, как правило, предусматривать виброизоляцию фундаментов.

7.5 Фундаменты формовочных машин для производства сборного железобетона

7.5.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов следующих видов машин для производства (формования) сборных железобетонных изделий и конструкций:

вибрационных площадок на упругих опорах;

виброударных площадок на упругих опорах;

ударных (кулачковых) площадок со свободным падением движущихся частей;

стационарных и скользящих виброштампов.

7.5.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов машин, указанных в 7.5.1, кроме материалов, перечисленных в подразделе 5.1, должны входить:

масса подвижных частей площадки;

схема расположения, тип и жесткость упругих опор;

число оборотов в минуту и амплитуда возмущающих сил вибратора, момент эксцентриков вибратора;

значение безынерционной пригрузки;

высота падения ударной части площадки;

расположение и размеры рабочих мест, если технологическим процессом производства не предусматривается дистанционное управление работой данной формовочной машины.

7.5.3 Фундаменты под формовочные машины для производства сборного железобетона следует проектировать массивными в виде плит или блоков. Фундаменты следует армировать в соответствии с требованиями 5.2.14.

7.5.4 Рабочее место на фундаменте должно быть защищено от вибраций в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012.

7.5.5 При формовании изделий в высоких формах (например, кассетных) обслуживающие площадки вокруг форм (кассет) не допускается опирать на фундаменты формовочных машин и соединять с ними.

7.5.6 Фундаменты под вибрационные, виброударные и ударные площадки, а также под стационарные виброштампы следует проектировать таким образом, чтобы центр тяжести площади подошвы фундамента и центр жесткости упругих опор, а также

линии действия равнодействующей возмущающих сил вибратора или ударов располагались, как правило, по одной вертикали.

Эксцентриситет равнодействующей возмущающих сил вибратора или линии действия ударов по отношению к центру тяжести площади подошвы фундамента не должен превышать: для вибрационных площадок и стационарных виброштампов 3 %, а для виброударных и ударных площадок 1 % размера стороны подошвы фундамента, в направлении которой смещается равнодействующая.

7.5.7 Амплитуды вертикальных колебаний a_v фундаментов под вибрационные площадки на упругих опорах следует определять по формулам (54)–(57), в которых динамическую нагрузку на фундамент F_v, кН, следует вычислять по формуле

$$F_v = \frac{M_{exc} K}{m_0 g}, \tag{117}$$

где M_{exc} – момент эксцентриков вибратора, кН·м, принимаемый по заданию на проектирование;

m_0 – масса подвижных частей площадки вместе с формуемым изделием, т, которая не учитывается при определении массы всей установки m (6.2.5);

K – суммарный коэффициент жесткости опор, кН/м, принимаемый по заданию на проектирование.

7.5.8 Для фундаментов виброударных и ударных площадок следует предусматривать, как правило, виброизоляцию.

Расчет амплитуд вертикальных колебаний a_z невиброизолированных фундаментов следует производить по формуле (62), в которой $J_z = m_0 v$, коэффициент восстановления скорости удара принимают $\varepsilon = 0{,}5$; скорость удара v, м/с, следует вычислять для ударных площадок по формуле (107) (см. 7.3.6), а для виброударных – по формуле

$$v = \frac{F_v}{m_0 \omega}, \tag{118}$$

где F_v – расчетное значение возмущающей силы вибратора, кН;

m_0 – масса подвижных частей, включая массу формы с бетоном, т;

ω – угловая частота вращения, $с^{-1}$.

7.5.9. Амплитуды вертикальных колебаний a_v фундаментов виброштампов следует определять по формуле (54), в которой величины a_z и a'_z, м, следует вычислять по формулам:

$$a_z = \frac{0{,}64 F_v \left[3(\lambda_z / \omega)^3 + 1\right]}{m\omega^2}; \tag{119}$$

$$a'_z = \frac{0{,}32 F_v e l \left[3(\lambda_\varphi / \omega)^3 + 1\right]}{\theta_\varphi \omega^2}, \tag{120}$$

где F_v – расчетное значение вертикальной составляющей возмущающих сил машины, кН;

e – эксцентриситет ее приложения, м, принимаемый для стационарных виброштампов равным нулю;

m – масса фундамента, засыпки грунта на его обрезах, неподвижных частей

машины и формуемого изделия, т;

θ_φ – момент инерции массы фундамента, засыпки грунта на его обрезах, неподвижных частей машины и формуемого изделия относительно оси, проходящей через общий центр тяжести перпендикулярно плоскости колебаний, т·м^2;

λ_φ – угловая частота вращательных колебаний фундамента, с$^{-1}$, определяемая по формуле (48), в которой $\theta_{\varphi 0}$ – момент инерции массы фундамента, засыпки грунта на его обрезах, неподвижных частей машины и формуемого изделия относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний, т·м^2;

ω, λ_z, l – то же, что и в формулах подраздела 6.2.

7.6 Фундаменты оборудования копровых бойных площадок

7.6.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов (оснований) копровых бойных площадок копровых цехов и скрапоразделочных баз.

7.6.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов оборудования копровых бойных площадок, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

масса ударной части копра, т, и высота ее падения, м;

размеры в плане площади, на которой производится разбивка (разделка) скрапа;

данные о расположении копра по отношению к существующим и проектируемым зданиям и сооружениям.

7.6.3 Конструкции бойных площадок следует назначать в зависимости от табличного значения расчетного сопротивления грунтов основания R_0, определяемого по СП 22.13330, и энергии ударной части копра.

7.6.4 В грунтах со значением $R_0 \geq 200$ кПа и при энергии ударной части копра до 300 кДж копровые бойные площадки следует устраивать в виде стальных плит (шабота), укладываемых по слою болванок или мартеновских козлов и мелкого скрапа толщиной не менее 1 м, заполняющих котлован глубиной не менее 2 м.

7.6.5 В грунтах со значением $R_0 < 200$ кПа и при энергии ударной части копра до 300 кДж под стальными плитами (шаботом) болванки или мартеновские козлы и мелкий скрап (согласно 7.6.4) следует укладывать по подстилающей песчаной подушке толщиной не менее 1 м, устроенной на железобетонной плите толщиной 1–1,5 м.

7.6.6 В грунтах со значением $R_0 \geq 200$ кПа и при энергии ударной части копра более 300 кДж копровые бойные площадки следует устраивать в виде стальных плит (шаботов), укладываемых по слою болванок или мартеновских козлов и мелкого скрапа толщиной не менее 1,5 м и подстилающему слою песка толщиной не менее 1 м, ограждаемых железобетонным цилиндром или коробом.

7.6.7 В грунтах со значением $R_0 < 200$ кПа и при энергии ударной части копра более 300 кДж копровые бойные площадки следует устраивать в виде железобетонных корытообразных прямоугольных или круглых в плане конструкций (фундаментов), в которых размещаются стальные плиты (шаботы), уложенные на подшаботную прокладку, выполняемую, как правило, из трех слоев: нижнего защитного – в виде нескольких щитов из дубовых брусьев общей толщиной до 800 мм; среднего амортизирующего – в виде многослойной конструкции из чередующихся слоев

чугунной стружки толщиной 80–100 мм и стальных листов толщиной не менее 20 мм; верхнего – из броневых плит толщиной 30–100 мм, на которых размещаются стальные блюмы.

7.6.8 Железобетонные конструкции фундаментов под оборудование копровых бойных площадок следует проектировать монолитными.

7.6.9 Шабот копровой бойной площадки должен устраиваться из стальных плит толщиной не менее 0,5 м; ориентировочную массу шабота m_{an}, т, следует принимать не менее $0{,}5\,m_0h_0$, где m_0 и h_0 – соответственно масса, т, и высота падения, м, ударной части копра.

7.6.10 Боковые стенки железобетонных ограждений следует защищать по всей поверхности изнутри и поверху стальными плитами толщиной не менее 50 мм, прикрепленными к деревянным брусьям сечением не менее 150×150 мм.

Для уменьшения разлета осколков разбиваемого лома стенки железобетонных ограждений выше уровня шабота (на высоту не менее половины наибольшего размера в плане) следует устраивать наклонными внутрь на 7–10°.

7.6.11 Минимальные расстояния от копровых бойных устройств до фундаментов строительных конструкций зданий и сооружений следует принимать по таблице 12.

Таблица 12

Грунты основания	Расстояние от копровых бойных устройств до фундаментов строительных конструкций, м (не менее), при массе ударной части копра m_0, т		
	$m_0 \le 3$	$3 < m_0 < 7$	$m_0 \ge 7$
Скальные и полускальные	15	20	30
Крупнообломочные, песчаные сухие, глинистые с показателем текучести $I_L < 0$ (в том числе лессовидные)	30	40	60
Песчаные влажные, глинистые с показателем текучести $0 \le I_L \le 1$	40	60	80
Песчаные водонасыщенные, глинистые с показателем текучести $I_L > 1$	50	80	100

Примечание – При возведении копровых установок на водонасыщенных песчаных и текучей консистенции глинистых грунтах следует искусственно укреплять основания фундаментов строительных конструкций (копровых цехов и скрапоразделочных баз), расположенных на расстояниях, меньших указанных в таблице 12.

7.7 Фундаменты дробилок

7.7.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов щековых, конусных (гирационных) и молотковых (ударных) дробилок.

7.7.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов дробилок, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

значения горизонтальной и вертикальной составляющих равнодействующей динамических нагрузок F_n и их места приложения соответственно относительно верхней грани фундамента дробилок и вертикальной оси, проходящей через центр тяжести дробильной установки;

частота вращения вала эксцентрика для конусных дробилок или главного вала для других видов дробилок;

масса вращающихся частей; число и масса молотков, расстояние от оси вращения до центра тяжести молотка для молотковых дробилок;

масса корпуса дробилок, масса заполнения.

7.7.3 Монолитные фундаменты дробилок рекомендуется проектировать преимущественно стенчатыми из двух стен (между которыми пропускается транспортер), нижней и верхней плиты (или двух верхних поперечных ригелей).

7.7.4 Сборно-монолитные фундаменты дробилок рекомендуется проектировать стенчатыми или рамными, предусматривая нижнюю плиту и верхние ригели из монолитного железобетона.

7.7.5 Групповые фундаменты под несколько дробилок следует предусматривать при расположении дробилок:

одноярусном – стенчатыми или рамными;

двух- или трехъярусном – стенчатыми.

При этом сборно-монолитные фундаменты следует проектировать, как правило, из блоков или стен, опирающихся на монолитную нижнюю плиту и связанных поверху монолитными обвязками.

7.7.6 Подошве отдельных фундаментов конусных дробилок рекомендуется придавать квадратную форму, а фундаментам дробилок остальных видов – прямоугольную.

7.7.7 Расчет колебаний фундаментов дробилок сводится к определению наибольшей амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани фундамента.

Расчет следует выполнять в соответствии с требованиями 6.1.1 и подраздела 6.2.

7.7.8 Расчет колебаний фундаментов конусных дробилок, имеющих прямоугольную форму подошвы, следует производить в плоскости, совпадающей с направлением меньшего размера подошвы.

7.7.9 Рамные фундаменты дробилок следует рассчитывать по прочности на действие веса всех элементов установки с учетом веса заполнения и силы F_d, заменяющей динамическое действие машины, в соответствии с указаниями 5.2.20 и 5.2.21.

Значение F_d следует определять по формуле (2), в которой нормативное значение динамической нагрузки F_n устанавливается по заданию на проектирование, а коэффициент надежности по нагрузке и коэффициент динамичности следует принимать по таблице 3.

Нормативное значение динамической нагрузки F_n, кН, для молотковых дробилок при отсутствии данных завода-изготовителя допускается определять по формуле

$$F_n = m_0 e \omega^2, \qquad (121)$$

где m_0 – масса вращающихся частей дробилки, т;

e – эксцентриситет массы m_0, принимаемый равным 0,001 м;

ω – угловая частота вращения массы m_0, $с^{-1}$.

7.7.10 При расчете прочности фундаментов молотковых дробилок следует производить проверку на отрыв молотка, при этом нормативное значение динамической нагрузки следует определять по формуле (121), принимая в ней массу m_0 равной массе одного молотка, а эксцентриситет e – расстоянию от оси вращения до центра тяжести молотка.

7.8 Фундаменты мельничных установок

7.8.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов мельничных установок с коротким барабаном (стержневых, шаровых, рудно-галечных и др.) и трубчатых (при отношении длины барабана к диаметру более трех).

7.8.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов мельничных установок, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

моменты инерции масс барабана и ротора электродвигателя, крутильная жесткость вала и передаточное число зубчатой передачи;

расстояние от оси вращения барабанов мельничных установок до верхней грани фундамента;

полная масса корпуса мельничных установок, масса заполнения.

7.8.3 Фундаменты мельничных установок следует проектировать, как правило, монолитными или сборно-монолитными.

7.8.4 Фундаменты трубчатых мельниц следует проектировать, как правило, в виде ряда поперечных (по отношению к оси мельницы) П-образных рам, опирающихся на отдельные железобетонные плиты, а мельниц с коротким барабаном – в виде общих массивных плит с поперечными стенами или рамами для опирания частей машины.

Для уменьшения уровня вибраций следует объединять поверху рамные фундаменты под отдельные мельницы общей железобетонной плитой.

Примечания

1 Допускается проектировать отдельные опоры трубчатых мельниц в виде поперечных стен на отдельных плитах.

2 При скальных и крупнообломочных грунтах допускается опирать стены, поддерживающие части мельниц с коротким барабаном, на отдельные плиты.

3 Установка двигателя, редуктора и одной из опор мельницы на разных фундаментах, не связанных жестко между собой, не допускается.

7.8.5 Расчет колебаний фундаментов мельничных установок следует производить на действие случайной динамической нагрузки, вызываемой движением заполнителя в барабане.

7.8.6 Амплитуды горизонтальных колебаний верхней грани массивных, стенчатых и рамных фундаментов мельничных установок от действия случайной динамической нагрузки следует определять по формулам подраздела 6.4.

7.8.7 Собственная угловая частота колебаний фундаментов мельниц должна отличаться не менее чем на 25 от % собственной угловой частоты λ_{sh} крутильных колебаний вала электродвигателя, определяемой по формуле

$$\lambda_{sh} = \sqrt{\frac{K \cdot (\theta_1 + \theta_2 i^2)}{\theta_1 \theta_2}}, \qquad (122)$$

где θ_1 – момент инерции массы барабана с загрузкой относительно его оси вращения, т·м^2;

θ_2 – момент инерции массы ротора электродвигателя относительно его оси вращения, т·м^2;

K – крутильная жесткость вала, соединяющего ротор двигателя с приводной шестерней, кН·м/рад;

i – передаточное число зубчатой пары (шестерни и зубчатого венца барабана).

7.8.8 Расчет прочности элементов конструкций фундаментов мельниц надлежит производить с учетом действия следующих нагрузок:

расчетного значения веса элементов конструкций и частей мельницы с учетом веса заполнения;

горизонтальной составляющей расчетной динамической нагрузки F_d, кН, приложенной к данной опоре и определяемой по формуле (2), в которой значения коэффициентов надежности по нагрузке и динамичности следует принимать в соответствии с таблицей 3, а величину F_n – равной: для трубчатых мельниц $0{,}2G_m$; для мельниц с коротким барабаном 0,1 G_m, где G_m – часть нормативного значения веса мельницы (без мелющих тел и заполнения), приходящаяся на данную опору, кН.

7.9 Фундаменты прессов

7.9.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов винтовых, кривошипных и гидравлических прессов.

7.9.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов прессов, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

габаритные чертежи пресса с указанием вида выполняемых им технологических операций (штамповка, ковка, вырубка);

масса поступательно движущихся рабочих частей пресса; момент инерции вращающихся рабочих масс винтового пресса относительно оси винта; главные моменты инерции пресса;

скорости поступательного и вращательного движения рабочих частей пресса в момент соприкосновения ползуна с упаковкой; полная деформация поковки в прессе штамповки или ковки, определяемая из графика рабочих нагрузок типовой поковки.

7.9.3 Фундаменты прессов следует проектировать, как правило, в виде жестких плит или монолитных блоков.

7.9.4 Фундаменты винтовых прессов, предназначенных для штамповки или ковки, следует рассчитывать с учетом импульса вертикальной силы и крутящего момента относительно вертикальной оси следующим образом:

а) амплитуду вертикальных колебаний a_z, м, фундамента следует определять по формуле (62), в которой значение коэффициента восстановления скорости удара ε следует принимать: при холодной штамповке и ковке $\varepsilon = 0{,}5$, при горячей штамповке и ковке $\varepsilon = 0{,}25$, а значение импульса вертикальной силы J_z, кН·с, определяется по формуле

$$J_z = m_0 v', \tag{123}$$

где m_0 – масса поступательно движущихся рабочих частей пресса, т;

v' – скорость поступательного движения рабочих частей пресса в момент удара, м/с;

б) амплитуды горизонтальных колебаний $a_{h,\psi}$, м, фундамента следует определять по формулам (67) и (68); при этом значение ε то же, что в 7.9.4а, а импульс момента J_ψ принимается равным

$$J_\psi = \theta_{0z}\omega, \tag{124}$$

где θ_{0z} – момент инерции вращающихся рабочих масс пресса, т·м^2, относительно оси винта;

ω – угловая частота вращения винта в момент удара, $с^{-1}$, принимаемая по заданию на проектирование.

7.9.5 Амплитуды вертикальных a_v, м, и горизонтальных $a_{h,\varphi}$, м, колебаний фундаментов кривошипных прессов при операциях штамповки следует определять по формулам (63)–(66), в которых значение коэффициента $\varepsilon = 0$; импульс вертикальной силы J_z определяется экспериментальным путем; при отсутствии опытных данных допускается импульс вертикальной силы определять по формуле (123), умножая его значение на коэффициент η, который учитывает влияние жесткости поковки и наличие люфтов в кинематических парах кривошипно-шатунного механизма; при 10^4 кН $\le F_{nom} < 6{,}3 \cdot 10^4$ кН допускается принимать $\eta = F_{nom}/6{,}3 \cdot 10^4$, а при $F_{nom} > 6{,}3 \cdot 10^4$ коэффициент η следует принимать равным 1; импульс момента J_φ принимается равным импульсу крутящего момента от замедления вращения рабочих частей пресса, возникающего при выполнении штамповки, и определяется экспериментальным путем; при отсутствии опытных данных значение J_φ, кН·м·с, допускается определять по формуле

$$J_\varphi = 0{,}1\frac{F_{nom}\delta}{\omega_0}, \qquad (125)$$

где F_{nom} – номинальное усилие пресса, кН;

δ – полная деформация поковки в процессе штамповки, м, определяемая из типового графика рабочих нагрузок для рассматриваемой модели пресса (рабочий ход ползуна);

ω_0 – угловая частота вращения кривошипа, $с^{-1}$, принимаемая по заданию на проектирование.

При операциях вырубки амплитуду вертикальных колебаний фундамента a_z, м, следует определять по формуле (62), в которой коэффициент $\varepsilon = 0$, а значение импульса J_z следует определять экспериментальным путем; при отсутствии опытных данных допускается значение импульса J_z определять по формуле

$$J_z = \frac{0{,}3F'_{nom}}{\omega_1}, \qquad (126)$$

где F_{nom} – номинальное усилие пресса, кН, при операции вырубки;

ω_1 – угловая частота свободных колебаний станины, $с^{-1}$, определяемая по формуле

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K_m}{m_t}}, \qquad (127)$$

где K_m – коэффициент вертикальной жесткости станины, кН/м, принимаемый по заданию на проектирование;

m_t – масса верхней части пресса, расположенной выше середины высоты станины, т.

7.9.6 Фундаменты гидравлических прессов, предназначенных для штамповки или ковки, следует рассчитывать на действие импульса вертикальной силы. При этом амплитуду вертикальных колебаний фундамента a_z следует определять по формуле

(62), принимая в ней коэффициент $\varepsilon = 0$, а значение импульса J_z – по формуле (123), в которой v – максимальная скорость опускания подвижной траверсы, м/с.

7.10 Фундаменты прокатного оборудования

7.10.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов основного и вспомогательного оборудования прокатных и трубных цехов, а также оборудования непрерывного литья заготовок.

7.10.2 В состав исходных данных для проектирования фундаментов прокатного оборудования, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

план основных осей оборудования с привязкой к осям здания, а также основные отметки оборудования; план и разрезы помещений технического подвала или этажа;

данные о расположении лотков для гидравлического смыва окалины и возможные входы в траншеи лотков, а также данные о расположении мест возможного появления производственных вод;

указания о расположении мест, где необходимо устройство лестниц, монтажных проемов, ограждений и перекрытий;

данные для определения значений монтажных нагрузок, располагаемых в пределах перекрытия подвала и возле него, в виде плана, на котором указываются следующие основные зоны действия нагрузок: от стационарного технологического оборудования, от временно размещаемого сменного оборудования при ремонтах с указанием веса, габаритов, числа монтажных единиц и минимальных проходов для наиболее тяжелого оборудования (сменные клети, валки с подушками и т.п.); данные для определения временных нагрузок от подвижного транспорта, содержащие характеристики и количество транспортных средств; данные для определения нагрузок в местах складирования металла (веса и размеры типовых вариантов штабелей, пирамид и т.п. с указанием проходов между ними); временную нагрузку от остального оборудования допускается задавать в виде сплошной равномерно распределенной нагрузки.

7.10.3 Под основное и вспомогательное прокатное оборудование следует проектировать массивные монолитные бетонные и железобетонные фундаменты с необходимыми вырезами, отверстиями и каналами или облегченные (рамного или стенчатого типа) монолитные или сборно-монолитные железобетонные фундаменты с использованием полостей и устройством в становых пролетах общих и местных технических этажей или подвалов; при этом установку рабочей и шестеренной клетей, редуктора и приводного двигателя следует предусматривать на общем фундаменте. Такие общие облегченные фундаменты следует устраивать из верхней и нижней плит, соединенных стойками и стенами или массивными устоями (опорами), отделенными швами от рабочей площадки и здания.

Оборудование мелкосортных, проволочных и штрипсовых станов допускается размещать в пролетной части верхней фундаментной плиты. Основное оборудование крупносортных и среднесортных станов следует размещать над несущими опорами (стойками или стенами). Рабочие и шестеренные клети листовых, толстолистовых, рельсобалочных и других тяжелых станов следует устанавливать на массивные устои.

7.10.4 В случае, если заложение всех участков фундаментов прокатного оборудования и оборудования непрерывного литья заготовок на одной отметке по

глубине приводит к перерасходу материалов, допускается отдельные участки фундаментов закладывать на разной глубине.

Фундаменты, разделенные глубокими открытыми каналами (например, каналами для смыва окалины), следует связывать поверху железобетонными распорками через 3–6 м, расположение которых должно быть увязано с расположением оборудования.

7.10.5 Армирование фундаментов следует производить в соответствии с указаниями подраздела 5.2. При этом верхнюю арматуру массивных фундаментов следует укладывать только под станинами оборудования с динамическими нагрузками.

Диаметры стержней нижней арматуры следует принимать не менее 16 мм для фундаментов длиной до 30 м и 20 мм – длиной свыше 30 м.

7.10.6 Под станинами оборудования, воспринимающими систематически действующие ударные нагрузки, следует предусматривать установку 2–3 сеток, располагаемых в соответствии с указаниями 5.2.14. При этом верхние сетки, доходящие до края фундамента, следует загибать вниз вдоль вертикальной грани на длину 15 диаметров загибаемых стержней.

7.10.7 При наличии местных воздействий от лучистой теплоты, ударов кусками падающей окалины и т.п. вертикальные грани фундамента следует армировать сетками из стержней диаметром 12 мм с квадратными ячейками размером 200 мм.

7.10.8 Расчет колебаний массивных фундаментов под прокатное оборудование выполнять не требуется.

Расчет прочности элементов фундаментов выполняется в соответствии с указаниями 5.2.20 и 5.2.21. При этом нагрузки, возникающие при работе оборудования в исключительных случаях, например, при резком нарушении технологического процесса, и нагрузки, возникающие при авариях (поломка шпинделей, соединительных муфт и т.п.), относятся к временным особым нагрузкам.

7.11 Фундаменты металлорежущих станков

7.11.1 В состав исходных данных для проектирования фундаментов металлорежущих станков, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

чертеж опорной поверхности станины станка с указанием опорных точек, рекомендуемых способов установки и крепления станка;

данные о значениях нагрузок на фундамент: для станков с массой до 10 т – общая масса станка, а для станков с массой более 10 т – схема расположения статических нагрузок, передаваемых на фундамент;

для станков, требующих ограничения упругого крена фундамента, – данные о предельно допустимых изменениях положения центра тяжести станка в результате установки тяжелых деталей и перемещения узлов станка (или максимальные значения масс деталей, массы подвижных узлов и координаты их перемещения), а также данные о предельно допустимых углах поворота фундамента относительно горизонтальной оси;

данные о классе станков по точности, а также о жесткости станины станков, о необходимости обеспечения жесткости за счет фундамента и о возможности частой перестановки станков;

для высокоточных станков – указания о необходимости и рекомендуемом способе их виброизоляции: кроме того, в особо ответственных случаях для таких станков (например, при установке высокоточных тяжелых станков или при установке

высокоточных станков в зоне интенсивных колебаний оснований) в исходных данных для проектирования должны содержаться результаты измерений колебаний грунта в местах, предусмотренных для установки станков, и другие данные, необходимые для определения параметров виброизоляции (предельно допустимые амплитуды колебаний фундамента или предельно допустимые амплитуды колебаний элементов станка в зоне резания и т.п.).

7.11.2 Станки в зависимости от их массы, конструкции и класса точности допускается устанавливать на бетонном подстилающем слое пола цеха, на устроенные в полу утолщенные бетонные или железобетонные ленты (ленточные фундаменты) или на массивные фундаменты (одиночные или общие).

7.11.3 На подстилающем слое пола цеха следует устанавливать станки с массой до 10 т (при соответствующем обосновании до 15 т) нормальной и повышенной точности с жесткими и средней жесткости станинами, для которых $l/h < 8$ (где l – длина, h – высота сечения станины станка), а также высокоточные, виброизоляцию которых допускается осуществлять при помощи упругих опор, расположенных непосредственно под станиной станка.

На устраиваемые в полу цеха утолщенные бетонные или железобетонные ленты допускается устанавливать станки с массой до 30 т.

7.11.4 На фундаменты следует устанавливать станки следующих видов:

с нежесткими станинами с отношением $l/h \geq 8$ и с составными станинами, в которых требуемая жесткость обеспечивается за счет фундамента;

с массой более 10 т (или 15 т при соответствующем обосновании) при толщине бетонного подстилающего слоя пола, недостаточной для установки станков данной массы;

высокоточные, для виброизоляции которых необходима установка специальных фундаментов.

Примечание – Установка высокоточных станков на общие фундаменты допускается только в случаях, если в числе группы станков, устанавливаемых на один фундамент, отсутствуют такие, при работе которых будут возникать динамические нагрузки, вызывающие колебания с амплитудами, превышающими предельно допустимые, указанные в задании на проектирование.

7.11.5 Для высокоточных станков, устанавливаемых на виброизолированных фундаментах и требующих периодической юстировки, рекомендуется использовать комбинированные упруго-жесткие опорные элементы, позволяющие переходить от упругой установки фундамента, обеспечивающей его виброизоляцию, к жесткой.

При проектировании виброизолированных фундаментов станков на резиновых ковриках должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие возможность смены этих ковриков.

7.11.6 Для одиночных фундаментов станков нормальной и повышенной точности с массой до 30 т высоту фундамента следует принимать в соответствии с данными, приведенными в таблице 13, а для станков с массой более 30 т – назначать из условия обеспечения необходимой жесткости станины за счет фундамента, а также из конструктивных соображений (в частности, в зависимости от глубины приямков).

7.11.7 Высоту общих фундаментов станков нормальной и повышенной точности следует определять по результатам расчета фундамента по прочности и жесткости с учетом минимально необходимой высоты (см. таблицу 13), обеспечивающей

требуемую жесткость станины отдельных станков, а также из конструктивных соображений, особенностей данного вида станка и условий его обслуживания.

7.11.8 Фундаменты станков следует армировать сетками из стержней диаметром 8 – 10 мм с квадратными ячейками размером 300 мм, укладываемыми на расстоянии 20 – 30 мм от верхней и нижней граней фундамента.

7.11.9 Установку станков допускается производить как без крепления, так и с креплением фундаментными болтами. При этом крепление станков фундаментными болтами обязательно:

при необходимости обеспечения совместной работы станины с фундаментом (например, станков высокой точности, устанавливаемых на одиночные фундаменты, или станков с нежесткими станинами, в которых требуемая жесткость станины обеспечивается за счет фундамента);

при динамических нагрузках от возвратно-поступательно перемещающихся масс (например, в продольно-строгальных станках) или от вращающихся неуравновешенных масс, которые могут вызвать перемещения фундамента при работе на скоростных режимах (например, в токарных и фрезерных станках).

Таблица 13

Группа станков	Станки	Высота фундамента h, м, под металлорежущие станки нормальной и повышенной точности с массой до 30 т
1	Токарные Горизонтально-протяжные Продольно-фрезерные Продольно-строгальные	$0{,}3\sqrt{L}$
2	Шлифовальные	$0{,}4\sqrt{L}$
3	Зуборезные Карусельные, вертикальные полуавтоматы и автоматы Карусельно-фрезерные Консольно- и бесконсольно-фрезерные Горизонтально-расточные	$0{,}6\sqrt{L}$
4	Вертикально- и радиально-сверлильные	0,6–1 м
5	Поперечно-строгальные и долбежные	0,8–1,4 м

Обозначение: L – длина фундамента, м.

Примечания

1 Для групп 4 и 5 бóльшие значения следует принимать для станков бóльших размеров.

2 Для агрегатных станков повышенной точности, многооперационных станков и станков с программным управлением (отдельных или в автоматических линиях) высоту фундаментов следует увеличивать на 20 %.

7.11.10 При установке станков на утолщенных бетонных или железобетонных лентах пола или на отдельных фундаментах ленты и фундаменты следует рассчитывать на прочность на действие расчетных статических нагрузок в соответствии с указаниями 5.2.20 и 5.2.21 и в случае необходимости – на жесткость (см. 7.11.6).

7.11.11 Расчет оснований фундаментов по деформациям следует производить в случаях ограничения углов поворота фундамента, при этом допускается пренебрегать

упругостью фундамента. Расчет углов поворота фундамента следует выполнять на действие расчетных (с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$) статических, эксцентрично приложенных нагрузок.

7.11.12 Расчет колебаний невиброизолированных фундаментов станков, как правило, не выполняется.

7.11.13 Расстояние от фундаментов высокоточных станков до фундаментов станков, работающих со значительными динамическими нагрузками (долбежные, строгальные и т.п.), должно быть не менее 15 м.

Допустимость установки высокоточных станков в зоне действия различного рода промышленных и транспортных источников вибраций следует проверять расчетом в соответствии с подразделом 6.5.

7.12 Фундаменты вращающихся печей

7.12.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов вращающихся обжиговых печей с числом опор более двух.

7.12.2 В состав исходных данных для проектирования, кроме материалов, указанных в подразделе 5.1, должны входить:

чертежи корпуса печи с указанием толщин стальной оболочки, размеров бандажей и толщины футеровки;

данные о числе зубьев венцовой шестерни; значения нагрузок на фундаменты от опорных рам и роликов, а также на опору приводного оборудования от механизмов привода;

частота вращения корпуса печи в эксплуатационном режиме;

значение максимального усилия в гидроупоре для печей, снабженных гидроупорами.

7.12.3 Фундамент вращающейся печи должен проектироваться, как правило, в виде отдельных железобетонных опор рамной или стенчатой конструкции, выполняемых монолитными или сборно-монолитными и отдельными от фундаментов и других конструкций здания. При этом приводное оборудование и ближайшую роликоопору необходимо размещать на одной опоре стенчатой конструкции со стенами в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

7.12.4 Расчетной схемой установки (печи и фундамента) является неразрезная балка (корпус печи), шарнирно опирающаяся на упругие опоры. Упругость опор учитывается в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Вертикальные и горизонтальные нагрузки на опоры, направленные перпендикулярно и вдоль оси печи, следует определять с учетом совместной работы корпуса печи и фундамента.

7.12.5 При проектировании опор коэффициенты их жесткости в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси печи, следует принимать не менее коэффициентов жесткости корпуса печи, причем для крайних опор не менее коэффициентов жесткости корпуса печи в месте расположения соседних с ним опор.

Примечание – Под коэффициентом жесткости корпуса печи следует понимать реакцию неразрезной балки в месте расположения рассматриваемой опоры при ее горизонтальном единичном смещении поперек оси печи.

7.12.6 Нормативные горизонтальные нагрузки на опоры $F_{n,t}$, кН, действующие вдоль оси печи, следует определять по формуле

$$F_{n,t} = \frac{F_{n,v} k_f}{\cos\alpha}, \qquad (128)$$

где $F_{n,v}$ – нормативная вертикальная нагрузка, кН, определяемая по соответствующему сочетанию (7.12.9);

k_f – коэффициент трения подбандажной обечайки по опорным роликам, принимаемый равным 0,2;

α – угол между вертикалью и прямой, соединяющей ось корпуса с осью опорного ролика.

7.12.7 Горизонтальные нагрузки на опоры, действующие вдоль оси печи, при обосновании расчетом допускается передавать на опору приводного оборудования стальными распорками, связывающими опоры на уровне их верха. При расчете распорок, кроме усилий, указанных в 7.12.6, следует учитывать усилия, возникающие в них от температурных воздействий.

7.12.8 Нормативные циклические нагрузки (вертикальная $F_{n,v}$, и горизонтальная $F_{n,h}$, действующая перпендикулярно оси печи) на опоры от веса печи, теплообменных устройств, футеровки и обжигаемого материала, монтажных и температурных деформаций корпуса печи, кН, возникающие при вращении печи с эксцентриситетом, следует определять в соответствии с расчетной схемой, указанной в 7.12.4. При этом необходимо принимать максимальное значение реакции, получаемое на опоре при эксцентриситете оси корпуса печи, равном 20 мм, задаваемом поочередно на каждой опоре в вертикальном и горизонтальном направлениях. Максимальные расчетные нагрузки печи с числом опор не более четырех допускается определять при эксцентриситете оси корпуса печи, равном 10 мм.

Примечание – Нагрузки $F_{n,v}$ и $F_{n,h}$ для трех- и четырехопорных печей допускается определять при эксцентриситете оси корпуса печи, равном 10 мм.

7.12.9 Расчет опор по прочности производится на следующие сочетания нагрузок: 1) F_v, F_t, 2) $F_{v,c}$, $F_{t,c}$, F_h, где F_v, F_t, F_h – расчетные нагрузки на рассматриваемую опору, кН, определяемые в соответствии с указаниями 7.12.6, 7.12.8 и 5.2.21; $F_{v,c}$ – расчетная вертикальная нагрузка на опору, кН, определяемая в соответствии с указаниями 7.12.4 без учета эксцентриситета печи; $F_{t,c}$ – расчетная горизонтальная нагрузка на опору, кН, действующая вдоль оси печи, определяемая в соответствии с указаниями 5.2.21 при замене нагрузки $F_{n,v}$, в формуле (128) на нагрузку $F_{n,v,c}$ (определенную без учета эксцентриситета печи).

Примечания

1 Для опор, оборудованных гидроупорами, в качестве расчетного значения горизонтальной нагрузки, направленной вдоль оси печи, F_t, кН, следует принимать наибольшее из двух ее значений, определенных по формуле (128) и по усилию в гидроупоре.

2 Расчет опор на второе сочетание нагрузок следует производить с учетом момента, действующего в горизонтальной плоскости от нагрузки F_t, приложенной только к одному из роликов опоры печи.

7.12.10 Расчет железобетонных элементов опор на выносливость следует производить на нагрузки, определяемые в соответствии с указаниями 7.12.9, принимая коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 0{,}8$.

7.12.11 Площадь подошвы опоры следует определять из условия допустимости ее отрыва от основания не более четверти ширины подошвы.

7.12.12 Фундаменты под печи следует проектировать таким образом, чтобы значения первой частоты собственных вертикальных и горизонтальных колебаний установки, определяемые для расчетной схемы 7.12.4, отличались не менее чем на 25 % значения частоты зацепления зубьев привода ω, $с^{-1}$, вычисленной по формуле

$$\omega = 0{,}105 N n_r, \qquad (129)$$

где N – число зубьев венцовой шестерни;

n_r – частота вращения печи, об/мин.

Приложение А
(обязательное)

Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

А.1 **амплитуда колебаний (displacement amplitude):** Величина, равная максимальному абсолютному значению перемещения при колебаниях; для случайных колебаний амплитудой колебаний называется среднеквадратическое значение перемещения.

А.2 **скорости продольных и поперечных упругих волн (longitudinal and transversal elastic wave velocities):** Параметры грунта как упругой среды, равные квадратным корням отношений упругих модулей (компрессионного и сдвигового соответственно) к плотности.

А.3 **среднее статическое давление под подошвой фундамента (average static bearing pressure):** Среднее давление под подошвой фундамента от расчетных статических нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке γ_f, равном 1.

А.4 **расчетное сопротивление грунта основания R (allowable bearing pressure):** Значение, определяемое в соответствии с требованиями СП 22.13330 с учетом размеров и заглубления фундамента.

А.5 **табличное значение расчетного сопротивления R_0 (tabulated value of allowable bearing pressure):** Значение, содержащееся в таблицах СП 22.13330 и не зависящее от размеров и заглубления фундамента.

Приложение Б

(рекомендуемое)

Расчет колебаний несимметричных массивных и стенчатых фундаментов при произвольной зависимости нагрузки от времени

Б.1 Фундамент считается абсолютно твердым телом, имеющим 6 степеней свободы: 3 поступательных перемещения x', y', z' начала координат O' и 3 угла поворота χ', φ', ψ' относительно осей x', y', z' соответственно (рисунок Б.1).

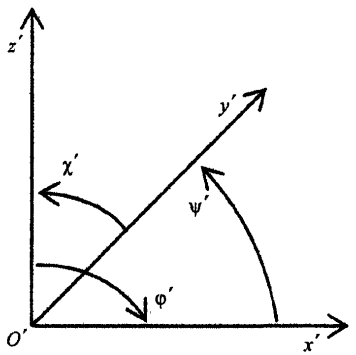


***Рисунок Б.1* – Степени свободы фундамента**

Б.2 Колебания фундамента описываются системой шести дифференциальных уравнений:

$$M'_{i1}\ddot{x}' + M'_{i2}\ddot{y}' + M'_{i3}\ddot{z}' + M'_{i4}\ddot{\chi}' + M'_{i5}\ddot{\varphi}' + M'_{i6}\ddot{\psi}' + B'_{i1}\dot{x}' + B'_{i2}\dot{y}' + B'_{i3}\dot{z}' + B'_{i4}\dot{\chi}' +$$
$$+ B'_{i5}\dot{\varphi}' + B'_{i6}\dot{\psi}' + K'_{i1}x' + K'_{i2}y' + K'_{i3}z' + K'_{i4}\chi' + K'_{i5}\varphi' + K'_{i6}\psi' = f'_i(t)\ (1 \le i \le 6), \qquad (Б.1)$$

где M'_{ij}, B'_{ij}, и K'_{ij} – элементы матриц инерции, демпфирования и жесткости соответственно, а $f'_i(t)$ – обобщенные силы, действующие на фундамент (динамические поступательные и вращательные воздействия, нормативные значения).

Б.3 Начало координат O' помещается в центр тяжести подошвы фундамента; ось z' направляется вертикально вверх; горизонтальные оси лежат в плоскости подошвы фундамента и являются ее главными осями. При этом матрицы демпфирования и жесткости диагональны: $B'_{ij} = 0$ и $K'_{ij} = 0$ при $i \ne j$, $(1 \le i \le 6;\ 1 \le j \le 6)$.

Б.4 Ненулевые диагональные элементы матрицы жесткости следует определять по формулам:

$$K'_{11} = K'_{22} = K_x;\ K'_{33} = K_z;\ K'_{44} = \overline{K}_{\chi'};\ K'_{55} = \overline{K}_{\varphi'};\ K'_{66} = K_\psi, \qquad (Б.2)$$

где K_x, K_z, и K_ψ вычисляются по формулам (11), (9) и (12), а $\bar{K}_{\varphi'}$ и $\bar{K}_{\chi'}$ – из соотношений

$$\bar{K}_{\chi'} = C_\varphi I_{x'} - mgh_2; \bar{K}_{\varphi'} = C_\varphi I_{y'} - mgh_2, \quad \text{(Б.3)}$$

где $I_{x'}$ и $I_{y'}$ — моменты инерции подошвы относительно осей x' и y' соответственно.

Б.5 Элементы матрицы инерции представляют собой массу всей установки (фундамента с засыпкой грунта на его обрезах и выступах и машины), ее статические моменты и ее моменты инерции, которые следует определять в системе координат $O'x'y'z'$.

Б.6 Ненулевые диагональные элементы матрицы демпфирования следует определять по формулам:

$$B'_{ii} = 2D_i\sqrt{K'_{ii}M'_{ii}} \quad (1 \le i \le 6), \quad \text{(Б.4)}$$

где $D_1 = D_2 = \xi_x$, $D_3 = \xi_z$, $D_4 = D_5 = \xi_\varphi$, $D_6 = \xi_\psi$; значения относительного демпфирования ξ_x, ξ_z, ξ_φ и ξ_ψ определяются в соответствии с указаниями 6.1.5 – 6.1.6.

Б.7 Для системы уравнений (Б.1) при произвольной зависимости нагрузки от времени следует применять численные методы решения дифференциальных уравнений. В частных случаях периодической, импульсной или случайной нагрузки, а также при наличии плоскости симметрии возможно применение аналитических методов.

Приложение В

(рекомендуемое)

Расчет фундаментов машин с вращающимися частями по деформациям

В.1 Расчет фундаментов машин с вращающимися частями по деформациям следует производить на постоянные нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1{,}0$. Нагрузки могут определяться без учета их перераспределения верхним строением фундамента.

В.2 При ограничении деформаций нижней плиты фундамента к ней предъявляется требование трещиностойкости: образование трещин в нижней плите при действии постоянных и монтажных нагрузок не допускается.

В.3 Для фундаментов машин, деформации которых ограничиваются, не допускается использовать в качестве естественных оснований следующие грунты:

пески рыхлые;

мелкие и пылеватые пески, подверженные в водонасыщенном состоянии суффозии;

глинистые грунты текучие;

насыпные и намывные грунты с модулем деформации менее 10 МПа;

илы, торфы и заторфованные грунты.

В.4 Для фундаментов турбоагрегатов, в тех случаях, когда имеются технологические ограничения, величину длительной деформации нижней плиты фундамента на грунтовом основании (изменение прогиба за четырехлетний эксплуатационный период) Δf допускается оценивать как долю κ от расчетной величины полного упругого прогиба f:

$$\Delta f = \kappa f. \qquad \text{(В.1)}$$

Величина коэффициента κ принимается по таблице В.1.

Таблица В.1

Вид грунта	Доля полной деформации, приходящейся на четырехлетний период κ
Галечниковый (щебенистый), гравийный (дресвяный) грунты. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные независимо от коэффициента водонасыщения	0
Пески гравелистые, крупные и средней крупности, средней плотности. Пески мелкие плотные, независимо от коэффициента водонасыщения	0,1
Пески мелкие средней плотности, независимо от коэффициента водонасыщения. Пески пылеватые плотные и средней плотности, маловлажные	0,2
Пески пылеватые плотные и средней плотности, влажные и водонасыщенные	0,3
Непросадочные и ненабухающие: супеси твердые, суглинки и глины твердые и полутвердые	0,4
Непросадочные и ненабухающие: супеси тугопластичные и мягкопластичные, суглинки и глины тугопластичные, мягкопластичные и текучепластичные	0,5

Значения коэффициента к характеризуют долю полной деформации фундамента и основания, которая проявляется за первый четырехлетний период эксплуатации машины с момента ее пуска после монтажа и до первого капитального ремонта. Для каждого последующего периода величина соответствующей деформации уменьшается.

Расчетную величину полного прогиба фундамента f рекомендуется определять из расчета совместной деформации основания и фундамента.

В.5 Допускается вводить в расчет только нижнюю плиту и учитывать влияние жесткости верхнего строения рамного фундамента путем уменьшения расчетной величины полного прогиба на 15 %.

Для протяженных фундаментов допускается рассчитывать изгиб нижней плиты по балочной схеме в продольном направлении, совпадающем с направлением оси машины, принимая плиту абсолютно жесткой в поперечном направлении.

В.6 При расчете деформаций жесткость нижней плиты определяют исходя из ее работы на изгиб как сплошного однородного тела по формуле

$$B_{sb} = \gamma_{cr} E_b I_{red}, \qquad \text{(В.2)}$$

где γ_{cr} – коэффициент, учитывающий влияние кратковременной и длительной ползучести бетона, принимаемый равным 0,6;

E_b – начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении;

I_{red} – момент инерции приведенного сечения плиты относительно его центра тяжести.

В.7 В случаях ограничения деформаций фундамента и при наличии в основании глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0,5$, а также песков мелких и пылеватых водонасыщенных при расчете деформаций нижней плиты фундамента в величину расчетного модуля деформации грунтов основания вводится коэффициент условий работы грунтов основания $\gamma_{vc} = 0,7$, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при действии динамических нагрузок.

Приложение Г

(справочное)

Список обозначений

Коэффициенты надежности и динамичности

γ_f – по нагрузке;

γ_{c0} – условий работы, учитывающие характер динамических нагрузок и ответственность машин;

γ_{c1} – условий работы грунтов основания;

γ_{cp} – условий работы свайных фундаментов;

γ_{cs} – условий работы многолетнемерзлых грунтов;

η – динамичности;

μ – пропорциональности (при определении динамических нагрузок).

Параметры колебаний

a – амплитуда колебаний фундамента;

a_u – предельно допустимая амплитуда колебаний;

a_s – амплитуда колебаний грунта;

a_z, a_x, a_φ, a_ψ – составляющие амплитуды колебаний, соответственно вертикальная, горизонтальная, вращательные относительно горизонтальной и вертикальной осей;

ω – угловая частота вынужденных колебаний;

n_r – частота вращения, об/мин;

v – скорость падающих частей;

ε – коэффициент восстановления скорости удара;

g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}81$ м/с^2.

Характеристики системы фундамент-грунт

C_z, C_φ, C_x, C_ψ – коэффициенты упругого равномерного и неравномерного сжатия и сдвига соответственно;

K_z, K_φ, K_x, K_ψ – коэффициенты жесткости для естественных оснований соответственно при упругом равномерном и неравномерном сжатии и сдвиге;

$K_{z,red}$, $K_{\varphi,red}$, $K_{x,red}$, $K_{\psi,red}$ – приведенные коэффициенты жесткости для свайных фундаментов соответственно при упругом равномерном и неравномерном сжатии и сдвиге;

λ_z, λ_x, λ_φ, λ_ψ – угловые частоты соответственно при вертикальных, горизонтальных, вращательных относительно горизонтальной и вертикальной осей фундамента;

$\lambda_{1,2}$ – главные собственные частоты колебаний фундамента;

m – масса установки (фундамента с машиной и грунта на обрезах и выступах фундамента);

m_{red} – приведенная масса свайного фундамента;

m_r – масса ротверка с машиной;

m_0 – масса падающих частей;

θ_φ, $\theta_{\varphi,red}$ – момент инерции массы установки соответственно на естественном основании и на свайном относительно оси, проходящей через центр тяжести установки перпендикулярно плоскости колебаний;

$\theta_{\varphi 0}$, $\theta_{\varphi 0,red}$ – момент инерции массы установки соответственно на естественном основании и на свайном относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно плоскости колебаний;

θ_ψ – момент инерции массы установки относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести установки;

ξ_z, ξ_x, ξ_φ, ξ_ψ – относительное демпфирование соответственно при вертикальных, горизонтальных и вращательных колебаниях относительно горизонтальной и вертикальной осей.

Характеристики материалов

R – расчетное сопротивление грунта основания;

R_0 – табличное значение расчетного сопротивления грунта основания;

E – модуль деформации грунта;

c_p – удельное упругое сопротивление на боковой поверхности свай;

E_b – модуль упругости материала фундамента;

E_w, E_r – модуль упругости, соответственно, деревянной и резиновой прокладки.

Нагрузки

p – среднее статическое давление под подошвой фундамента;

F_n – нормативное значение динамической нагрузки;

F_d – расчетное значение динамической нагрузки;

M – расчетное значение возмущающего момента;

$M_{n,sc}$ – нормативное значение момента короткого замыкания;

G_i – вес вращающихся частей;

G – вес установки;

J_z, J_φ, J_ψ – импульс соответственно вертикальной силы и момента относительно горизонтальной и вертикальной осей;

E_{sh} – энергия удара;

S_q – спектральная плотность случайной нагрузки.

Геометрические характеристики

A – площадь подошвы фундамента;

I_φ, I_ψ – моменты инерции подошвы фундамента, соответственно относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости колебаний, и вертикальной оси, проходящих через центр тяжести подошвы фундамента;

l – длина фундамента; глубина погружения сваи в грунт;

l_0 – свободная длина сваи;

d – диаметр или меньший размер стороны поперечного сечения сваи;

u – периметр поперечного сечения сваи;

h – высота фундамента;

h_1, h_2 – расстояния от общего центра тяжести установки соответственно до верхней грани фундамента и до подошвы фундамента;

r – расстояния между фундаментами, между сваями;

e – эксцентриситет приложения нагрузки.

Библиография

[1] СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства
[2] СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства
[3] СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1. Общие правила производства работ

УДК 624.159.11 ОКС 93.020

Ключевые слова: фундаменты машин, динамические нагрузки, колебания, проектирование.

Издание официальное

Свод правил

СП 26.13330.2012

Фундаменты машин с динамическими нагрузками

Актуализированная редакция

СНиП 2.02.05-87

Подготовлено к изданию ФАУ «ФЦС»

Тел. (495) 930-64-69; (495) 930-96-11; (495) 930-09-14

Формат 60×84 1/8. Тираж 220 экз. Заказ № 713/12.

Отпечатано в ООО «Аналитик»

г. Москва, Ленинградское ш., д.18

gost.e-ecolog.ru