Министерство регионального развития

Российской Федерации

СВОД ПРАВИЛ СП _____

ЗДАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИЕ И СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННЫЕ. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Москва 2013

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 ИСПОЛНИТЕЛИ: Центральный институт строительных конструкций и сооружений им. В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко) — институт 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) от и введен в действие с

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

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, 2013

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

	Введение	IV
1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	2
3	Термины и определения	2
4	Основные положения	4
5	Общие положения для сейсмоизолирующих устройств	7
6	Критерии соответствия	8
	6.1 Абсолютное предельное состояние	8
	6.2 Предельное состояние по ограничению ущерба	9
	6.3 Специальные требования	10
	6.3.1 Проектирование	10
	6.3.2 Фундаменты	10
	6.3.3 Критерии конструктивной регулярности	11
	6.3.3.1 Общие положения	11
	6.3.3.2 Критерии регулярности сооружений в плане	11
	6.3.3.3 Критерии регулярности по высоте	12
7	Сейсмическое воздействие	13
	7.1 Расчетный спектр максимальных сейсмических ускорений	13
	7.2 Упругий спектр отклика максимальных горизонтальных ускорений	14
	7.3 Упругий спектр отклика максимальных вертикальных ускорений	15
	7.4 Представление сейсмического воздействия в виде записей колебаний во времени	16
	7.4.1 Общие положения	16
	7.4.2 Искусственные акселерограммы	16
	7.4.3 Записанные или синтезированные акселерограммы	17
	7.4.4 Пространственная модель сейсмического воздействия	17
8	Характеристики систем сейсмоизоляции	17
9	Расчет сооружения	18
	9.1 Общие положения	18
	9.2 Расчетные сейсмические нагрузки	18
	9.3 Эквивалентный линейный расчет	20
	9.4 Упрощенный линейный расчет	23
	9.5 Распределение горизонтальных сейсмических сил	26
	9.6 Упрощенный модальный линейный расчет	27
	9.7 Модальный расчет с использованием спектра отклика	27
	9.7.1 Общие положения	27
	9.7.2 Сочетание модальных реакций	28
	9.8 Расчет по записям колебаний грунта во времени	28
	9.9 Ненесущие элементы	30
Приложение А (справочное) Сейсмоизолирующие элементы		31
Приложение Б (справочное) Моделирование систем сейсмоизоляции		42

Введение

В настоящем своде правил приведены требования, соответствующие целям технических регламентов и подлежащие соблюдению с учетом части 1 статьи 46 Федерального закона «О техническом регулировании».

Приведены также требования, соответствующие целям Федерального закона «Об энергосбережении».

Работа выполнена Центром исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко — института ОАО «НИЦ «Строительство» (руководитель работы — канд. техн. наук, доцент *В.И. Смирнов*; ответственный исполнитель — *А.А.Бубис*).

СВОД ПРАВИЛ

ЗДАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИЕ И СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННЫЕ

Anti-Seismic and Seismically Isolated Construction Design Code

Дата введения

1 Область применения

1.1 Настоящий Свод правил разработан в развитие положений СП 14.13330. Сооружение и любая его часть должны проектироваться и строиться в соответствии с требованиями настоящего СП.

Примечания

1 Номера пунктов СП 14.13330, текст которых идентичен пунктам настоящего СП, указаны в квадратных скобках рядом с номерами пунктов СП.

2 В настоящем СП принят термин «сооружение», т.к. здание является одним из видов сооружения.

1.2 Настоящий свод правил распространяется на проектирование новых, реконструкцию и усиление существующих сооружений с системами сейсмоизоляции в районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов на грунтах категории I, II, III по сейсмическим свойствам. Строительство новых сейсмоизолированных сооружений и применение сейсмоизоляции для увеличения сейсмостойкости существующих сооружений на грунтах категории IV запрещено.

1.3 Проектирование и строительство сооружения на площадке, сейсмичность которой превышает 9 баллов, осуществляется в порядке, установленном уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

1.4 Требования СП распространяются на проектирование сооружений с пассивными системами сейсмоизоляции (далее – системы сейсмоизоляции), предназначенными для снижения сейсмических воздействий на конструктивные системы (Приложение А).

1.5 Требования распространяются на проектирование сооружений с полной сейсмоизоляцией сооружения, в которых системы сейсмоизоляции, образующие сейсмоизолирующие слои, располагаются выше фундаментов или жестких подземных частей сооружений.

1.6 Требования не распространяются на сейсмоизолированные сооружения, расположенные:

а) в зонах возможного проявления тектонических разломов на дневной поверхности;

б) на площадках с грунтовыми отложениями, способными к разжижению.

1.7 Требования не распространяются на сооружения с системами сейсмоизоляции, распределенными по нескольким этажам или уровням конструктивной системы.

1.8 Проектирование и строительство сооружения с системами сейсмоизоляции при превышении высот, приведенных в требованиях СП 14.13330, осуществляются в порядке, установленном уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

Примечание — Детализированные положения по проектированию сейсмоизолированных сооружений с пассивными системами сейсмоизоляции должны быть разработаны в порядке, установленном уполномоченным федеральным органом исполнительной власти, для каждого объекта с учетом: индивидуальных особенностей конструктивно-планировочных решений и конфигурации в плане и по высоте; сейсмической опасности площадки строительства; конструктивных особенностей принятой системы сейсмоизоляции.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы ссылки на следующие документы:

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

СП 2.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»

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»

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил необходимо проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим сводом правил следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем СП применены термины, принятые в СП 14.13330 и ГОСТ Р 54257-2010, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 абсолютное предельное состояние: Состояние без локального и общего обрушения, при котором сохраняется конструктивная целостность и остаточная несущая способность сооружения после сейсмического воздействия и обеспечивается безопасность людей.

3.2 активная система сейсмоизоляции: Система, осуществляющая антисейсмическую защиту сооружений с помощью дополнительных источников энергии, генерирующих воздействия, уменьшающие эффекты от сейсмических воздействий и базирующаяся на компьютерном управлении процессом колебаний сооружения при землетрясении.

3.3 гибридная система сейсмоизоляции: Система, сочетающая признаки пассивной и активной систем сейсмоизоляции.

3.4 коэффициент условий работы: Коэффициент, используемый при проектировании для снижения расчетных усилий, полученных в результате линейного анализа, с целью учета нелинейного поведения сооружения, обусловленного особенностями материала, конструктивной системы и принятой методики проектирования.

3.5 коэффициент надежности по ответственности сооружений: Коэффициент, учитывающий надежность сооружений в зависимости от уровня ответственности, характеризуемой социальными, экологическими и экономическими последствиями.

3.6 ненесущий элемент: Архитектурный, механический или электрический элемент, система или конструкция, из-за своей недостаточной прочности или из-за способа соединения с сооружением не рассматривается при проектировании в качестве

элемента, воспринимающего сейсмическую нагрузку, приходящуюся на конструктивную систему.

3.7 нормированный спектр отклика: Спектр отклика ускорений упругой системы, максимальные амплитудные составляющие которого поделены на максимальную амплитуду данной акселерограммы (нормированы по максимальному значению).

3.8 пассивная система сейсмоизоляции: Система, параметры которой зависят только от свойств образующих ее сейсмоизолирующих элементов, обеспечивающих снижение механической энергии, передающейся конструктивной системе при землетрясении, без использования дополнительных источников энергии.

3.9 полная сейсмоизоляция сооружения: Суперструктура считается полностью сейсмоизолированной, если при сейсмической расчетной ситуации она работает в области упругих деформаций. В противном случае, суперструктура считается частично сейсмоизолированной.

3.10 полное расчетное перемещение сейсмоизолирующего элемента в главном направлении: Максимальное горизонтальное перемещение в месте расположения сейсмоизолирующего элемента, включающее расчетное перемещение, вызванное кручением суперструктуры вокруг вертикальной оси.

3.11 предельное состояние по ограничению ущерба: Состояние, связанное с повреждениями конструкций, при котором выполняется требование эксплуатационной пригодности.

3.12 расчет сооружения: Алгоритм определения эффектов от воздействий (сил, моментов, напряжений, деформаций) в любой точке расчетной модели сооружения, который следует проводить, используя общий расчет, расчет отдельных конструктивных элементов, локальный (местный) расчет.

3.13 расчетное перемещение системы сейсмоизоляции в главном направлении: Максимальный горизонтальный сдвиг между верхом субструктуры и низом суперструктуры в центре эффективной жесткости, соответствующий расчетному сейсмическому воздействию.

3.14 сейсмическая расчетная ситуация: Расчетная ситуация для сооружения, учитывающая сочетания статических и сейсмических нагрузок.

3.15 сейсмическая изоляция: Изоляция сооружений от сейсмических колебаний грунта.

3.16 сейсмически изолированное сооружение: Сооружение, оснащенное системой сейсмоизоляции.

3.17 сейсмоизолирующий слой: Слой, разделяющий субструктуру и суперструктуру, в пределах которого устраивается система сейсмоизоляции (как правило, в основании сооружения).

3.18 сейсмоизолирующие элементы: Элементы, образующие систему сейсмоизоляции, представляющие собой слоистые резинометаллические опоры, вязкие или фрикционные демпферы, маятниковые и другие устройства.

3.19 система сейсмоизоляции: Совокупность специальных конструктивных элементов: повышающих гибкость и периоды собственных колебаний сооружения (гибкие стойки; качающиеся опоры; резинометаллические опоры и др.); увеличивающих поглощение (диссипацию) энергии сейсмических колебаний (демпферы сухого трения; скользящие пояса; гистерезисные; вязкие демпферы и др.); резервных, выключающихся элементов.

3.20 спектр упругого отклика: График, представляющий собой совокупность максимальных абсолютных значений (ускорение, скорость или перемещение) линейно-упругого осциллятора при заданном акселерограммой воздействии, построенный как функция собственных периодов (частот) и демпфирования осцилляторов.

3.21 субструктура: Часть сооружения, включая фундамент, расположенная ниже сейсмоизолирующего слоя.

3.22 суперструктура: Сейсмически изолированная часть сооружения, расположенная выше сейсмоизолирующего слоя.

3.23 центр эффективной жесткости: Центр жесткости, определяемый на верхней поверхности сейсмоизолирующего слоя с учетом податливости сейсмоизолирующих элементов и субструктуры.

3.24 эффективная жесткость системы сейсмоизоляции в главном направлении: Отношение значения суммарной горизонтальной силы, передающейся через сейсмоизолирующий слой на суперструктуру при расчетном перемещении, к абсолютному значению расчетного перемещения в том же направлении (секущая жесткость).

3.25 эффективный период: Период колебаний по основному тону в рассматриваемом направлении системы с одной степенью свободы, масса которой соответствует приведенной массе суперструктуры, а жесткость равна эффективной жесткости системы сейсмоизоляции.

3.26 эффективное демпфирование системы сейсмоизоляции в главном направлении: Значение эффективного вязкого демпфирования, соответствующее энергии, рассеянной системой сейсмоизоляции при расчетном перемещении.

4 Основные положения

4.1 Процесс проектирования сооружений с сейсмоизоляцией должен выполняться с учетом сейсмического районирования, инженерно-геологических условий площадки строительства, горизонтальных и вертикальных ускорений грунта, назначения сооружения, геометрических и физических характеристик, конструктивной системы, а также ненесущих элементов конструкций сооружения.

4.2 При проектировании конструктивную систему сооружения следует разделять по высоте сейсмически изолирующим слоем на две части: субструктуру и суперструктуру.

Субструктуру следует располагать ниже сейсмоизолирующего слоя. Она должна включать в себя фундаменты или фундаменты и часть сооружения, контактирующие с грунтом.

Суперструктура, расположенная выше сейсмоизолирующего слоя, должна включать в себя часть сооружения, на которую сейсмические воздействия передаются

через сейсмоизолирующий слой.

4.3 Снижение сейсмической реакции системы, воспринимающей горизонтальные силы, следует достигать путем увеличения основного периода колебаний сейсмически изолированного сооружения, видоизменения основной формы колебаний и увеличения демпфирования или путем комбинации этих эффектов. В изолирующую систему следует включать линейно или нелинейно деформируемые опоры и/или демпферы.

4.4 В проектируемых сооружениях допускается применять системы сейсмоизоляции одного или нескольких типов.

4.5 При проектировании сооружений с системой сейсмоизоляции следует обеспечить:

восприятие расчетных вертикальных нагрузок при высокой горизонтальной податливости и вертикальной жесткости сейсмоизолирующего слоя;

непрерывность конструктивной системы суперструктуры по высоте;

вязкое и/или гистерезисное затухание энергии;

ограничение горизонтальных перемещений, возникающих в процессе эксплуатации сооружений при несейсмических горизонтальных воздействий (например, ветровых);

ограничение взаимных горизонтальных перемещений суперструктуры и субструктуры при сейсмических горизонтальных воздействиях;

возвращение сейсмоизолированной части сооружения в исходное положение устойчивого равновесия после прекращения действия сейсмических сил;

удобство монтажа и возможность центрирования;

стабильность свойств при повторных циклических нагружениях.

Примечание — Свойства сейсмоизолирующих элементов в процессе эксплуатации и повторных циклических нагружениях могут изменяться и находиться в диапазоне допускаемых значений.

4.6 Интенсивность сейсмических воздействий в баллах (сейсмичность) для района строительства следует принимать на основе комплекта карт общего сейсмического районирования (ОСР) территории Российской Федерации.

Решение о выборе карты для оценки сейсмичности района при проектировании конкретного объекта принимает заказчик по представлению генерального проектировщика, при необходимости основываясь на заключениях компетентной организации.

4.7 Расчетное сейсмическое воздействие принимается в виде нормированного сейсмического воздействия, умноженного на коэффициент безопасности по ответственности сооружения γ_n (Таблица 1).

4.8 Проектирование и строительство сооружений в сейсмических районах должно осуществляться таким образом, чтобы следующие требования были соблюдены с достаточным уровнем надежности:

а) требование отсутствия обрушения. Сооружение должно быть запроектировано и построено так, чтобы выдержать расчетное сейсмическое воздействие, изложенное в 7.1, без локальных разрушений и общего обрушения, сохраняя свою конструктивную целостность и остаточную несущую способность после сейсмических воздействий;

Примечание -- Рекомендуемая вероятность возможного превышения 5 % (95 % вероятности непревышения) в течение 50 лет указанных на картах ОСР значений сейсмической интенсивности, которому соответствует значение среднего интервала времени между землетрясениями расчетной интенсивности 1000 лет.

б) требование ограничения ущерба. Сооружение должно быть запроектировано и

построено так, чтобы выдержать расчетное сейсмическое воздействие, изложенное в 7.1, без наступления недопустимого ущерба и заданных ограничений эксплуатации.

Таблица 1 — **Коэффициенты надежности по ответственности сооружения**

Назначение сооружения или здания	Значение коэффициента γ_n не менее	Коэффициент ν_{col}, при расчете на предотвращение обрушения
1 Объекты, перечисленные в подпунктах 1), 2), 3), 4), 5), 6), 9), 10.1), 11) пункта 1 Статьи 48.1 кодекса [1]; сооружения с пролетами более 100 м; объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов; объекты гидро- и теплоэнергетики мощностью более 1000 МВт; монументальные здания; правительственные здания повышенной ответственности; жилые, общественные и административные здания высотой более 200 м	1,2	3,0
2 Здания и сооружения: объекты, перечисленные в подпунктах 7), 8) пункта 1 и в подпунктах 3), 4) пункта 2 Статьи 48.1 кодекса [1]; функционирование которых необходимо при землетрясении и ликвидации его последствий (здания правительственной связи; службы МЧС и полиции; системы энерго- и водоснабжения; сооружения пожаротушения, газоснабжения; сооружения, содержащие большое количество токсичных или взрывчатых веществ, которые могут быть опасными для населения; медицинские учреждения, имеющие оборудование для применения в аварийных ситуациях); здания основных музеев; государственных архивов; административных органов управления; здания хранилищ национальных и культурных ценностей; зрелищные объекты; крупные учреждения здравоохранения и торговые предприятия с массовым нахождением людей; сооружения с пролетом более 60 м; жилые, общественные и административные здания высотой более 75 м; мачты и башни сооружений связи и телерадиовещания высотой более 100 м, не вошедшие в подпункт 3) пункта 1 кодекса [1]; трубы высотой более 100 м; тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории или протяженностью более 500 м, мостовые сооружения с пролетами 200 м и более, объекты гидро- и теплоэнергетики мощностью более 150 МВт; здания: дошкольных образовательных учреждений, общеобразовательных учреждений, лечебных учреждений со стационаром, медицинских центров, для маломобильных групп населения, спальных корпусов интернатов; другие здания и сооружения, разрушения которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям	1,1	3,0
3 Здания и сооружения, не указанные в 1 и 2	1,0	2,0

Примечания

1 Коэффициент ν_{dam} принимается равным 1,0 при расчете по ограничению ущерба.

2 Заказчик по представлению генпроектировщика относит сооружения по назначению к перечню таблицы 1.

3 Идентификация сооружений по принадлежности к опасным производственным объектам в соответствии с законодательством [2].

Примечание -- Рекомендуемая вероятность возможного превышения 10 % (90 % вероятности непревышения) в течение 50 лет указанных на картах ОСР значений сейсмической интенсивности, которому соответствует значение среднего интервала времени между землетрясениями расчетной интенсивности 500 лет.

5 Общие положения для сейсмоизолирующих устройств

5.1 Следует предусматривать достаточное пространство между суперструктурой и субструктурой, наряду с другими необходимыми мероприятиями, обеспечивающими возможность размещения, осмотра, технического обслуживания, центрирования и замены сейсмоизолирующих устройств в течение срока службы сооружения.

5.2 Сейсмоизолирующие устройства должны быть защищены от потенциально возможных воздействий, таких как пожар, химическое или биологическое воздействие в случае необходимости (ГОСТ 2.13130).

5.3 Материалы, используемые для проектирования и монтажа сейсмоизолирующих устройств, должны соответствовать действующим нормативным документам.

5.4 Повышенная надежность сейсмоизолирующих устройств обеспечивается путем умножения:

а) расчетных сейсмических перемещений каждого сейсмоизолирующего элемента на коэффициент надежности $\gamma_x = 1,2$;

б) расчетных вертикальных сейсмических сил в каждом сейсмоизолирующем элементе от гравитационных и сейсмических воздействий на коэффициент надежности $\gamma_z = 1,3$.

5.5 Между сейсмоизолированной суперструктурой и окружающим грунтом или сооружениями, следует предусматривать зазоры, достаточные для перемещений суперструктуры во всех направлениях при расчетных сейсмических воздействиях (рисунок 1).

5.6 Для минимизации эффектов кручения сооружения центр эффективной жесткости и центр демпфирования сейсмоизолирующей системы должны находиться как можно ближе к проекции центра массы сооружения на поверхность сейсмоизолирующего слоя.

5.7 Для минимизации разного поведения сейсмоизолирующих устройств сжимающие напряжения, вызываемые в них постоянной нагрузкой, должны быть как можно более близкими.

5.8 Сейсмоизолирующие устройства должны быть надежно закреплены к суперструктуре и субструктуре.

5.9 Система сейсмоизоляции должна быть запроектирована так, чтобы удары и случайные крутильные колебания ограничивались конструктивными мероприятиями, используя соответствующие устройства (сейсмогасители, демпферы, амортизаторы и т.п.).

5.10 Конструктивные элементы, расположенные выше и ниже сейсмоизолирующего слоя, должны быть жесткими в горизонтальном и вертикальном направлениях для того, чтобы минимизировать влияние неравномерных сейсмических колебаний грунта.

Следует предусмотреть мероприятия для защиты зазора между суперструктурой и окружающим грунтом или сооружениями от попадания атмосферных осадков и мусора.

5.11 Для сооружений требование 5.10 выполняется, если удовлетворяются все нижеприведенные условия:

а) над и под системой сейсмоизоляции предусмотрены жесткие горизонтальные диафрагмы, выполненные в виде железобетонных плит или системы перекрестных балок, запроектированных с учетом всех соответствующих локальных и глобальных видов их деформирования. В устройстве таких диафрагм нет

необходимости, если несущие конструкции выполнены в виде жестких коробчатых систем;

б) устройства, образующие систему сейсмоизоляции, закреплены непосредственно к упомянутым выше жестким диафрагмам либо, если это практически неосуществимо, крепятся с помощью вертикальных элементов, у которых относительное горизонтальное перемещение в сейсмической расчетной ситуации должно быть менее 1/20 относительного перемещения системы сейсмоизоляции.

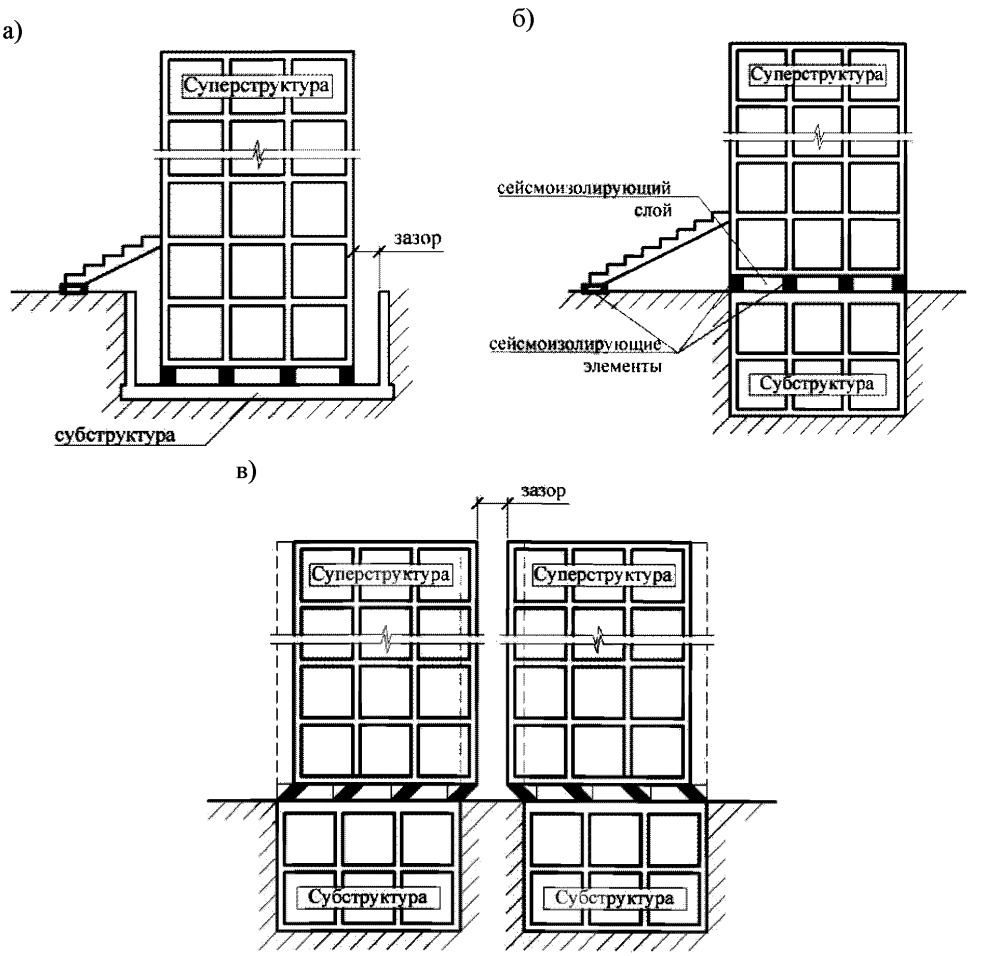


Рисунок 1 – Схемы расположения сейсмоизолированных сооружений

6 Критерии соответствия

6.1 Абсолютное предельное состояние

6.1.1 Расчет и конструирование сооружения должно обеспечивать его устойчивость против опрокидывания и скольжения при расчетном сейсмическом воздействии.

6.1.2 Необходимо выполнить расчет элементов фундамента и грунтового основания на усилия, возникающие в результате реакции надземной части сооружения, с анализом допускаемых остаточных деформаций. При определении реакции необходимо учесть фактическое сопротивление, которое может развить передающий воздействие элемент конструкции.

6.1.3 Поведение ненесущих элементов при расчетном сейсмическом воздействии не должно представлять опасность для людей и оказывать отрицательное влияние на реакцию несущих элементов сооружения.

6.1.4 В абсолютном предельном состоянии усилия в сейсмоизолирующих устройствах могут достигать расчетной предельной несущей способности, в то время как суперструктура и субструктура должны оставаться в области упругих деформаций.

Примечание -- Допускается проектировать суперструктуру с коэффициентом условий работы K_1 не менее 0,7, учитывающим допускаемое развитие неупругих деформаций в конструкциях сооружения.

6.1.5 В абсолютном предельном состоянии предельная несущая способность, по показателям прочности и деформируемости сейсмоизолирующих устройств, не должна быть превышена при соответствующих коэффициентах надежности по прочности в 5.4.

6.1.7 При абсолютном предельном состоянии газопроводы и другие коммуникации, пересекающие стыки между надземной частью и окружающим грунтом или сооружениями, должны рассчитываться на безопасное относительное перемещение между суперструктурой и окружающим грунтом или сооружениями с учетом коэффициента γ_x в 5.4.

6.2 Предельное состояние по ограничению ущерба

6.2.1 В состоянии ограничения ущерба все жизненно важные коммуникации, пересекающие швы в пределах сейсмически изолированного сооружения, должны оставаться в области упругого деформирования.

6.2.2 В сооружениях, важных для защиты населения, конструктивная система должна быть проверена расчетом, чтобы гарантировать прочность и жесткость, достаточных для сохранения особо важных функций объектов при сейсмическом воздействии, соответствующем принятой карте ОСР.

Величина коэффициента условий работы должна приниматься равной $K_1 = 1$.

6.2.3 В сооружениях, в состоянии ограничения ущерба, междуэтажный перекос по вертикали должен быть ограничен в субструктуре и суперструктуре.

6.2.3.1 При выполнении линейного расчета, средние горизонтальные перемещения d_{ei} в верхней и нижней частях данного этажа, получаемые в результате действия расчетной сейсмической силы, необходимо вычислять на основе упругого деформирования конструктивной системы и расчетного спектра отклика ускорений.

6.2.3.2 При определении перемещений d_{ei} необходимо учитывать эффекты кручения при сейсмическом воздействии.

6.2.3.3 Необходимо соблюдать следующие ограничения междуэтажного перекоса по вертикали:

а) сооружения с ненесущими элементами из хрупких материалов, имеющих соединения с несущими конструкциями:

$$\frac{d_r}{v_{col}} \le 0{,}005h \qquad (1)$$

б) сооружения, имеющие пластически деформируемые ненесущие элементы, соединенные с несущими конструкциями:

$$\frac{d_r}{\nu_{col}} \le 0{,}0075h \qquad (2)$$

в) сооружения, имеющие ненесущие элементы, не влияющие на деформации несущих конструкций, или без ненесущих элементов:

$$\frac{d_r}{\nu_{col}} \le 0{,}01h \qquad (3)$$

где d_r – расчетный междуэтажный перекос, определяемый как разница средних горизонтальных перемещений d_{ei} в верхней и нижней частях данного этажа;

h – высота этажа;

ν_{col} – коэффициент, принимаемый по таблице 1, учитывающий более низкий период повторяемости сейсмического воздействия, связанный с требованием ограничения ущерба.

6.2.3.4 Для статических и динамических нелинейных расчетов системы сейсмоизоляции на сейсмические воздействия принимаются перемещения, полученные непосредственно на основе выполненных расчетов.

6.3 Специальные требования

6.3.1 Проектирование

6.3.1.1 Как правило, сооружение должно иметь простые архитектурно-планировочные решения в плане и по высоте, согласно 6.3.3. Указанные требования реализуются при разделении сооружения антисейсмическими швами на динамически независимые блоки.

6.3.1.2 Не запрещено проектирование сейсмоизолированных сооружений со сложной планировкой.

6.3.1.3 С целью обеспечения максимально высокого рассеивания энергии колебаний необходимо исключить хрупкое разрушение элементов либо преждевременное формирование неустойчивых механизмов. С этой целью необходимо применить процедуру проектирования по несущей способности, которая используется для получения иерархии сопротивлений различных элементов сооружения и последовательности разрушения, необходимых для обеспечения оптимального пластического механизма и минимизации условий для хрупкого разрушения.

6.3.1.4 При проектировании сооружения следует уделять особое внимание конструированию узлов и соединений между элементами конструкций.

6.3.1.5 Расчеты должны быть основаны на применении расчетной модели сооружения, которая должна учитывать влияние ненесущих элементов, а также другие значимые аспекты.

6.3.2 Фундаменты

6.3.2.1 Жесткость и прочность фундаментов должны быть достаточными для равномерной передачи статических вертикальных воздействий от суперструктуры к субструктуре.

6.3.2.2 Не следует использовать разные типы фундаментов в одном сооружении.

6.3.3 Критерии конструктивной регулярности

6.3.3.1 Общие положения

6.3.3.1.1 Каждое сооружение следует характеризовать как сооружение регулярного или нерегулярного типа на основе конфигурации конструкций над системой изоляции.

Примечание — Для сооружений, состоящих из более, чем одного динамически независимого блока, классификация и соответствующие признаки, указанные в 6.3.3, относятся к одному отдельному динамически независимому блоку. В 6.3.3 под «отдельным динамическим независимым блоком» подразумевается «сооружение».

6.3.3.1.2 При проектировании сооружений регулярного и нерегулярного типа имеются следующие различия:

- расчетная модель может представлять собой упрощенную плоскую или пространственную модель;
- метод расчета: либо допускается упрощенный линейный расчет, либо нелинейный расчет по записям колебаний грунта во времени.

6.3.3.2 Критерии регулярности сооружений в плане

6.3.3.2.1 Сооружение должно быть симметрично в плане с равномерно распределенными жесткостями и массами в двух ортогональных направлениях.

6.3.3.2.2 Конфигурация плана должна быть компактной, т.е., каждое перекрытие должно быть разграничено многоугольной выпуклой линией. Если имеются выступы в плане перекрытия (входящие углы или разрывы по периметру), то регулярность в плане следует считать удовлетворительной при условии, что эти нерегулярности не оказывают влияние на жесткость перекрытия в плане и что разница в площадях, полученных с учетом каждой нерегулярности фактического очертания перекрытия и выпуклой многоугольной линией, окружающей площадь перекрытия, не превышает 5 %.

6.3.3.2.3 Жесткость перекрытий в плане должна быть большой в сравнении с поперечной жесткостью вертикальных несущих элементов сооружения, поскольку деформации перекрытий не должны влиять на распределение сил между вертикальными несущими элементами. Особое внимание должно быть уделено сооружениям, имеющим в плане Г, С, Н, I и Х-образные формы. Жесткость конструкций по контуру сооружения должна быть сопоставима с жесткостью конструкций центральной части.

6.3.3.2.4 Вытянутость сооружения в плане $\lambda = L_{max}/L_{min}$ должна быть не более 4, где L_{max} и L_{min} соответственно больший и меньший размеры сооружения в плане, измеренные в ортогональных направлениях.

6.3.3.2.5 При расчете сооружения эксцентриситет и радиус кручения на каждом уровне и для каждого из направлений X и Y должны соответствовать двум условиям (выражения приведены для расчета по оси у):

$$e_{ox} \le 0{,}30 r_x \quad (4)$$

$$r_x \ge l_s \quad (5)$$

где e_{ox} – расстояние между центром масс и центром жесткостей по оси X, нормальное к анализируемому направлению;

r_x - квадратный корень из отношения значений крутильной жесткости к горизонтальной жесткости в направлении оси Y (радиус кручения);

l_s - радиус вращения массы перекрытия в плане (корень квадратный отношения полярного момента инерции массы перекрытия в плане относительно центра масс перекрытия к массе перекрытия).

В одноэтажном сооружении центр жесткости определяется как центр жесткости всех основных элементов, воспринимающих сейсмическое воздействие. Радиус кручения r определяется как корень квадратный отношения общей жесткости при кручении относительно центра горизонтальной жесткости к общей горизонтальной жесткости по одному из направлений, принимая во внимание все основные элементы, воспринимающие сейсмическое воздействие в этом направлении.

В многоэтажном сооружении возможно только приблизительно определить центр жесткости и радиус кручения. Упрощенное определение этих понятий для классификации регулярности сооружения в плане и приближенного анализа крутильных эффектов в частных случаях определяется, если выполняются следующие два условия:

а) все несущие элементы, такие как диафрагмы, стены, рамы (каркасы), воспринимающие горизонтальную нагрузку непрерывны по всей высоте сооружения от фундамента до покрытия;

б) формы деформирования отдельных систем при горизонтальных нагрузках отличаются незначительно. Это условие выполняется в случае каркасных или стеновых систем. Для каркасно-стеновых систем это условие в общем случае не выполняется.

В каркасных и стеновых системах, в которых преобладают изгибные деформации, положение центров жесткостей и радиусов кручения всех этажей сооружения следует вычислять так же, как и положения моментов инерции горизонтальных сечений вертикальных элементов. Если наравне с изгибными деформациями возникают существенные деформации сдвига, то их следует учесть с помощью эквивалентного момента инерции поперечного сечения.

6.3.3.3 Критерии регулярности по высоте

6.3.3.3.1 Несущие элементы, такие как ядра жесткости, стеновые системы или рамы, воспринимающие горизонтальную нагрузку, должны быть непрерывными по всей высоте сооружения от фундамента до покрытия.

6.3.3.3.2 Поперечную жесткость и массы отдельных этажей допускается изменять постепенно, без резких изменений по высоте сооружения.

6.3.3.3.3 В каркасных зданиях отношение фактической несущей способности одного этажа к требуемой несущей способности, полученной расчетным путем, не должно меняться между соседними этажами.

6.3.3.3.4 При наличии выступов необходимо выполнить следующие дополнительные условия:

а) при выступах, расположенных симметрично относительно оси, выступ на любом этаже не должен превышать 20% предыдущего размера в плане в направлении выступа (рисунки 2,а и 2,б);

б) для отдельных выступов при высоте менее 15 % от общей высоты основной конструктивной системы выступ должен быть не больше 50 % основного размера в плане (рисунок 2,в). В этом случае, конструкция зоны основания в пределах периметра в вертикальной проекции верхних этажей должна быть запроектирована в

расчете на восприятие не менее 75 % горизонтальной силы, которая может возникнуть в этой зоне в подобном сооружении без увеличения основания;

в) если выступы на каждом фасаде расположены несимметрично, то сумма поверхности выступов на всех этажах должна быть не больше 30 % размера в плане на первом этаже над фундаментом или над верхней частью жесткого основания, а отдельные выступы не должны превышать 10 % предыдущего размера в плане (рисунок 2,г).

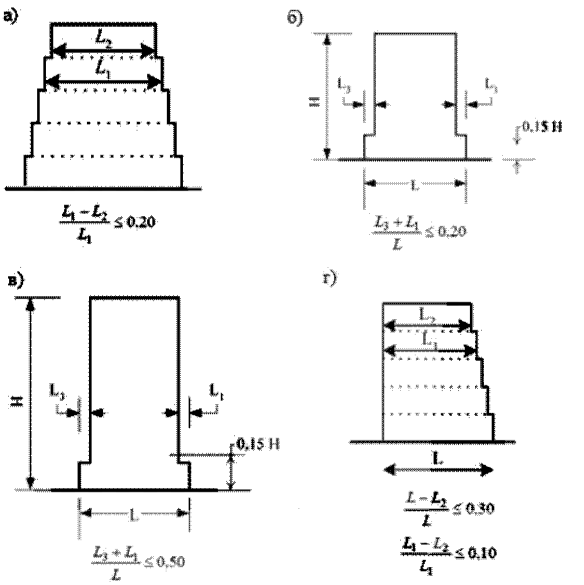


Рисунок 2 - Критерии регулярности по высоте

7 Сейсмическое воздействие

7.1 Расчетный спектр максимальных сейсмических ускорений

7.1.1 Сейсмическая интенсивность выражается на картах ОСР-97 в баллах. Перевод сейсмической интенсивности - I (балл) в нормированные пиковые ускорения - a_{gR} (см/с^2) для среднего типа грунта следует выполнять в соответствии со шкалой MSK-64 по формуле:

$$a_{gR} = 10^{0,301I - 0,107} \qquad (6)$$

Расчетное значение ускорения в уровне основания a_{gR}. для среднего типа грунта принимается равным 1,0; 2,0; 4,0 м/с^2 для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно.

7.1.2 При определении сейсмических нагрузок на сейсмоизолированное сооружение следует предусматривать одновременное действие двух горизонтальных и вертикальной компоненты сейсмического воздействия.

7.1.3 Сейсмические колебания в данной точке на поверхности грунта представляются спектром отклика максимальных ускорений $S_e(T)$ упруго-линейного осциллятора, далее именуемым "упругим спектром отклика".

7.1.4 Форма упругого спектра отклика максимальных ускорений принимается одинаковой для двух уровней сейсмического воздействия, представленных для требования отсутствия обрушения в 6.1 (абсолютное предельное состояние) и для требования ограничения ущерба в 6.2.

7.1.5 Горизонтальное сейсмическое воздействие описывается двумя ортогональными составляющими, которые считаются независимыми и представляются одинаковой формой спектра отклика.

7.1.6 Для трех составляющих сейсмического воздействия следует принимать одну или более альтернативных форм спектра отклика в зависимости от сейсмических источников и магнитуд землетрясений, генерируемых ими.

7.1.7 Для сейсмоизолированных сооружений сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий принимать по СП 20.13330, СП 14.13330 и ГОСТ 54257-2010.

7.2 Упругий спектр отклика максимальных горизонтальных ускорений

7.2.1 Для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия упругие спектры отклика максимальных ускорений $S_e(T)$ определяются следующим образом (рисунок 3):

$$0 \le T \le T_B: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2{,}5 - 1)\right] \tag{7}$$

$$T_B \le T \le T_C: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \eta \cdot 2{,}5 \tag{8}$$

$$T_C \le T \le T_D: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \eta \cdot 2{,}5\left[\frac{T_C}{T}\right] \tag{9}$$

$$T_D \le T \le 4 \text{ с}: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \eta \cdot 2{,}5\left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right] \tag{10}$$

где $S_e(T)$ – спектр отклика максимальных ускорений упруго-линейного осциллятора;

T – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы;

T_B, T_C и T_D – значения периодов, описывающие форму упругого спектра отклика и зависящие от типа грунта (таблица 2);

η – поправочный коэффициент затухания с номинальным значением $\eta = 1$ для 5 % вязкого затухания.

7.2.2 Значение поправочного коэффициента затухания η следует определять, используя выражение:

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \ge 0{,}55 \tag{11}$$

где ξ – коэффициент вязкого затухания сооружения в процентах.

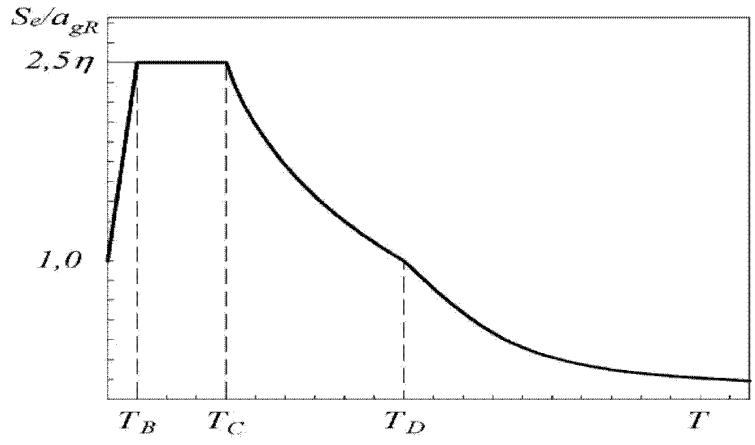


Рисунок 3 - Форма спектра отклика максимальных ускорений упруго-линейного осциллятора

Т а б л и ц а 2 - **Значения параметров спектра отклика максимальных горизонтальных ускорений упруго-линейного осциллятора**

Категория грунта по сейсмическим свойствам	T_B (с)	T_C (с)	T_D (с)
I и II	0,1	0,4	2,0
III	0,1	0,8	2,0

П р и м е ч а н и е — При наличии представительной информации (записей землетрясений, подробная характеристика опасных зон ВОЗ и др.) допускается применять обоснованные значения спектра отклика максимальных ускорений.

7.2.3 Упругий спектр отклика максимальных перемещений $S_{De}(T)$ следует определять из упругого спектра отклика максимальных ускорений $S_e(T)$:

$$S_{De}(T) = S_e(T)\left[\frac{T}{2\pi}\right]^2 \qquad (12)$$

7.2.4 Выражение (12) следует применять к периодам колебаний, не превышающим 4,0 с. Для сооружений с периодами колебаний более 4,0 с следует использовать более полную инженерно-сейсмологическую информацию об участке строительства.

7.2.5 Для сооружений повышенного уровня ответственности, перечисленных в позициях 1 и 2 таблицы 1, дополнительно должны учитываться зависящие от местных условий спектры, включая эффекты вблизи очага, если сооружение расположено на расстоянии менее 15 км от ближайшего потенциально активного сейсмического разлома с магнитудой $M_s \geq 6,5$. Такие спектры не должны приниматься меньше стандартного спектра в 7.2.1.

7.3 Упругий спектр отклика максимальных вертикальных ускорений

7.3.1 Для определения упругого спектра отклика максимальных вертикальных ускорений $S_{ve}(T)$ используются выражения (13)-(16):

$$0 \le T \le T_B: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2{,}5 - 1)\right] \tag{13}$$

$$T_B \le T \le T_C: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2{,}5 \tag{14}$$

$$T_C \le T \le T_D: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2{,}5 \left[\frac{T_C}{T}\right] \tag{15}$$

$$T_D \le T \le 4\text{с}: \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2{,}5 \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right] \tag{16}$$

Т а б л и ц а 3 - **Значения параметров спектра отклика максимальных вертикальных ускорений упруго-линейного осциллятора**

Категория грунта по сейсмическим свойствам	a_{vg}/a_{gR}	T_B (с)	T_C (с)	T_D (с)
I, II, III	0,70	0,05	0,15	1,0

7.4 Представление сейсмического воздействия в виде записей колебаний во времени

7.4.1 Общие положения

7.4.1.1 Сейсмические колебания могут быть представлены в виде записей ускорения грунта во времени и соответствующими параметрами (скоростью и перемещением).

7.4.1.2 Если для расчета требуется пространственная модель сооружения, сейсмические колебания должны состоять из трех компонент одновременно действующих акселерограмм. Одна и та же компонента акселерограммы не может быть использована одновременно вдоль обоих горизонтальных направлений.

7.4.1.3 В зависимости от характера применения и от фактически имеющейся информации описание сейсмического воздействия может быть выполнено с использованием искусственных акселерограмм (см. 7.4.2), а также записанных или синтезированных акселерограмм (см. 7.4.3).

7.4.2 Искусственные акселерограммы

7.4.2.1 Искусственные акселерограммы должны быть созданы таким образом, чтобы соответствовать форме упругого спектра отклика максимальных ускорений для соответствующих категорий грунта по сейсмическим свойствам 7.2.2 для вязкого затухания 5 % от критического ($\xi = 5$ %).

7.4.2.2 Продолжительность акселерограмм должна соответствовать магнитуде и другим важным параметрам сейсмического события, лежащим в основе установления расчетного максимального ускорения a_{gR}.

7.4.2.3 Если отсутствуют данные, характерные для конкретной площадки, минимальная продолжительность T_s установившейся части акселерограмм должна равняться 10 с.

7.4.2.4 Набор искусственных акселерограмм должен соответствовать следующим требованиям:

а) следует использовать не менее 3 акселерограмм;

б) среднее значение максимальных ускорений грунта (вычисленное по отдельным записям колебаний во времени) не должно быть меньше значения a_{gR} для рассматриваемой площадки;

в) в диапазоне периодов от $0{,}2T_1$ до $2T_1$, где T_1 – основной период колебаний сооружения в направлении, для которого будет применяться акселерограмма, ни одно среднее значение упругого спектра отклика с затуханием 5 %, вычисленное по всем записям колебаний во времени, не должно быть меньше 90 % соответствующего значения упругого спектра отклика с затуханием 5 % в 7.2.2.

7.4.3 Записанные или синтезированные акселерограммы

7.4.3.1 Записанные или синтезированные акселерограммы, используя физическое моделирование механизмов источника, эпицентральное расстояние и путь прохождения сейсмической волны через грунты, могут применяться при условии, что записи разработаны с учетом сейсмогенных свойств источника воздействия и грунтовых условий, характерных для площадки, а их значения нормированы к значению a_{gR} для рассматриваемого района.

7.4.3.2 Анализ свойств грунта на возможное увеличение эффектов при сейсмических воздействиях и проверку динамической устойчивости склона проводить в соответствии с СП 22.13330.

7.4.3.3 Используемый набор записанных или синтезированных акселерограмм должен соответствовать требованиям 7.4.2.4.

7.4.4 Пространственная модель сейсмического воздействия

7.4.4.1 Для сооружений неправильной и сложной формы, для которых было бы необоснованно принять синхронное воздействие во всех точках основания, необходимо использовать пространственные модели сейсмического воздействия.

7.4.4.2 Горизонтальные и вертикальная компоненты пространственной модели сейсмического воздействия должны быть не менее величин ординат упругих спектров отклика максимальных ускорений в 7.2 и 7.3.

8 Характеристики систем сейсмоизоляции

8.1 Величины физических и механических свойств сейсмоизолирующей системы, используемые в расчете, должны быть наиболее неблагоприятными за время срока службы сооружения (Приложение Б). Они должны отражать, где это актуально, влияние:

- скорости нагружения;
- величины одновременного вертикального воздействия;
- величины одновременного горизонтального воздействия в двух горизонтальных направлениях;
- температуры;
- изменения свойств за прогнозируемый срок службы сооружения.

8.2 Для сооружений нормального уровня ответственности, перечисленных в позициях 3 таблицы 1, могут использоваться средние величины физических и механических свойств сейсмоизолирующей системы при условии, что крайние

(максимальные или минимальные) величины не отличаются более чем на 15 % от средних величин.

9 Расчет сооружения

9.1 Общие положения

9.1.1 Распределение жесткостей и масс в модели сооружения должны максимально соответствовать распределению этих величин в реальном объекте для того, чтобы можно было учесть все существенные деформации и силы инерции, возникающие в сооружении при сейсмических воздействиях. В случае нелинейного расчета модель должна адекватно представлять распределение усилий.

9.1.2 Модель должна учитывать узловые деформации. Следует учитывать влияние ненесущих элементов, которые могут повлиять на сейсмостойкость сооружения.

9.1.3 Динамическая реакция конструктивной системы должна анализироваться по параметрам: ускорений, инерционных сил и перемещений.

9.1.4 В сооружениях должны учитываться эффекты кручения, в том числе эффекты случайного эксцентриситета. При применении программных средств для расчета пространственной РДМ эксцентриситеты вычисляются автоматически.

9.1.5 В упрощенных линейных расчетах учет случайного кручения при определении положения центров масс и пространственных изменений движения грунта принимаются исходя из того, что расчетный центр масс на каждом *i*-ом этаже смещается из своего номинального места расположения в каждом направлении на величину случайного эксцентриситета:

$$e_{ai} = \pm 0{,}1\, L_i \qquad (17)$$

где e_{ai} – случайный эксцентриситет массы *i-го* этажа относительно его номинального месторасположения, прилагаемый в одном направлении на всех перекрытиях;

L_i – размер стороны перекрытия, перпендикулярной к направлению действия сейсмического воздействия.

9.1.6 Моделирование сейсмоизолирующей системы должно отражать с достаточной точностью пространственное распределение сейсмоизолирующих элементов так, чтобы адекватно учитывать перемещение в обоих горизонтальных направлениях, соответствующие эффекты возможного качания и вращения вокруг вертикальной оси. Расчетная модель должна правильно отражать характеристики разных типов элементов сейсмоизолирующей системы (Приложение Б).

9.1.7 Устойчивость несущих элементов системы изоляции, воспринимающих вертикальную нагрузку, должна проверяться расчетом и испытаниями на горизонтальное перемещение, равное суммарному максимальному перемещению при сейсмическом воздействии.

9.2 Расчетные сейсмические нагрузки

9.2.1 [5.5] При определении расчетных сейсмических нагрузок на сооружения следует принимать расчетные динамические модели конструкций (РДМ), согласованные с расчетными статическими моделями конструкций и учитывающие особенности распределения нагрузок, масс и жесткостей конструкций сооружений в плане и по высоте, а также пространственный характер деформирования конструкций при сейсмических воздействиях.

Массы (вес) нагрузок и элементов конструкций в РДМ допускается принимать сосредоточенными в узлах расчетных схем. При вычислении массы необходимо учитывать только нагрузки, создающие инерционные силы.

Для сооружений с регулярным конструктивно-планировочным решением для предельного состояния по ограничению ущерба расчетные сейсмические нагрузки допускается определять с применением консольной расчетной динамической модели (рисунок 4). Для таких сооружений при абсолютном предельном состоянии необходимо применять пространственные расчетные динамические модели конструкций и учитывать пространственный характер сейсмических воздействий.

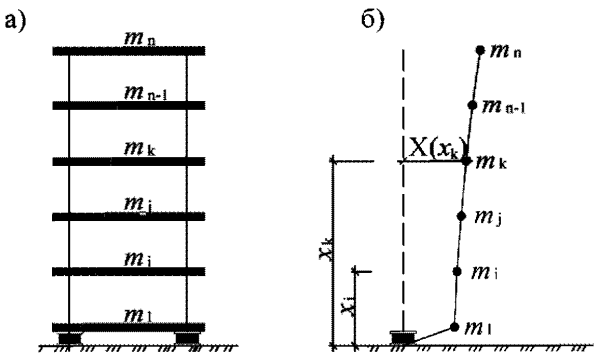


Рисунок 4

Расчетные сейсмические нагрузки на сооружения, имеющие нерегулярное конструктивно-планировочное решение, следует определять с применением пространственных расчетных динамических моделей зданий и с учетом пространственного характера сейсмических воздействий.

Расчетная сейсмическая нагрузка (силовая или моментная) F_{ik}^{j} по направлению обобщенной координаты с номером j, приложенная к узловой точке k РДМ и соответствующей i-й форме собственных колебаний сооружений, определяется по формуле

$$F_{ik}^{j} = \gamma_n \cdot \nu \cdot K_1 \cdot S_e(T) \cdot m_k^j \cdot \eta_{ik}^J \cdot K_\psi \qquad (18)$$

где γ_n — коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность, принимаемый по таблице 1;

ν — коэффициент, принимаемый по таблице 1: ν_{col} - при расчете на предотвращение обрушения, ν_{dam} - при расчете по ограничению ущерба;

K_1 — коэффициент условий работы, принимаемый в соответствии с 6.1.4 и 6.2.2;

$S_e(T)$ — спектр отклика максимальных ускорений упругого линейного осциллятора;

m_k^j — масса сооружения или момент инерции соответствующей массы сооружения, отнесенные к точке k по обобщенной координате j, определяемые с учетом расчетных воздействий на конструкции, согласно 5.1 СП 14.13330;

η_{ik}^{J} — коэффициент, зависящий от формы деформации сооружения при его собственных колебаниях по *i*-й форме, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия, определяемый по 5.7, 5.8 СП 14.13330;

K_{ψ} — коэффициент, принимаемый по таблице 5 СП 14.13330.

Примечания

1 Обобщенная координата может быть линейной координатой, и тогда ей соответствует линейная масса, либо угловой, и тогда ей соответствует момент инерции массы. Для пространственной РДМ для каждого узла обычно рассматривается 6 обобщенных координат: три линейные и три угловые. При этом, как правило, считают, что массы, соответствующие линейным обобщенным координатам, одинаковы, а моменты инерции массы относительно угловых обобщенных координат могут быть различными.

2 При вычислении силовой сейсмической нагрузки F_{ik}^{j} (j = 1, 2, 3) приняты следующие размерности: F_{ik}^{j} [Н], $S_{e}(T)\left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right]$, m_{k}^{j} [кг]; остальные коэффициенты, входящие в формулу (18), — безразмерные.

3 При вычислении моментной сейсмической нагрузки F_{ik}^{j} (j = 4, 5, 6) приняты следующие размерности: F_{ik}^{j} [Н·м], $S_{e}(T)\left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right]$, m_{k}^{j} [кг·м^2], $\eta_{ik}^{j}\left[\frac{1}{\text{м}}\right]$; остальные коэффициенты, входящие в формулу (18), — безразмерные.

4 $m_{k}^{4}=J_{k}^{1}$; $m_{k}^{5}=J_{k}^{2}$; $m_{k}^{6}=J_{k}^{3}$, где J_{k}^{1}, J_{k}^{2}, J_{k}^{3} — моменты инерции масс в узле k относительно 1-й, 2-й и 3-й осей соответственно.

9.2.2 [5.11] Расчетные значения поперечных и продольного усилий, изгибающих и крутящих моментов, нормальных и касательных напряжений N_p в конструкциях от сейсмической нагрузки при условии статического действия ее на сооружение, а также расчетные значения перемещений следует определять по формуле

$$N_p = \pm\sqrt{\sum_{i=1}^{n} N_i^2}\,, \qquad (19)$$

где N_i — значения усилия (момента, напряжения, перемещения), вызываемого сейсмическим воздействием, соответствующие *i*-й форме колебаний;

n — число учитываемых в расчете форм колебаний. Знаки в формуле (19) для вычисляемых факторов следует назначать по знакам значений соответствующих факторов для форм с максимальными модальными массами.

Если периоды *i*-й и (*i* +1)-й форм собственных колебаний сооружения отличаются менее чем на 10 %, то расчетные значения соответствующих факторов необходимо вычислять с учетом их взаимной корреляции. Для этого допускается применять формулу

$$N_p = \pm\sqrt{\sum_{i=1}^{n} N_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i \left| N_i N_{i+1} \right|}\,, \qquad (20)$$

где $\rho_i = 2$, если $T_{i+1}/T_i \geq 0{,}9$ и $\rho_i = 0$, если $T_{i+1}/T_i < 0{,}9$ ($T_i > T_{i+1}$).

9.3. Эквивалентный линейный расчет

9.3.1 При соблюдении условий (9.3.9) систему сейсмоизоляции допускается моделировать с учетом линейной вязкоупругой работы, если она состоит из устройств типа слоистых резинометаллических опор с низким демпфированием, или с учетом билинейной гистерезисной работы, если система состоит из устройств с упругопластической диаграммой деформирования при горизонтальных нагрузках (рисунок 5).

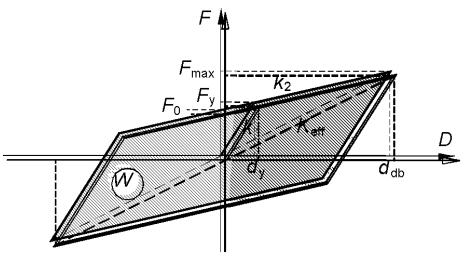


Рисунок 5 – Идеализированная зависимость «сила-перемещение» (F-D) для сейсмоизолирующих опор с высокой способностью к диссипации энергии

9.3.2 Если используется эквивалентная линейная модель, то принимается эффективная жесткость каждого сейсмоизолирующего элемента (т.е. значение секущей жесткости при полном расчетном перемещении d_{db}), одновременно соблюдая 8.1. Эффективная жесткость K_{eff} сейсмоизолирующей системы представляет собой сумму эффективных жесткостей сейсмоизолирующих элементов.

9.3.3 Эффективные жесткости эластомерных сейсмоизолирующих опор с высокой способностью к диссипации энергии (из высоко демпфирующей резины (рисунок А.1) или опор со свинцовыми сердечниками (рисунок А.4)) следует определять в виде:

$$K_{\text{eff}} = \frac{F_{\max}}{d_{\text{db}}} = k_2 + \frac{F_0}{d_{\text{db}}} = \frac{F_{\max} - F_{\text{y}}}{d_{\text{db}} - d_{\text{y}}} + \frac{F_0}{d_{\text{db}}} \qquad (21)$$

где k_1 – начальная упругая жесткость при монотонно возрастающей горизонтальной силе, а также жесткость при разгрузке в циклах «нагрузка – разгрузка»:

$$k_1 = \frac{F_y}{d_y}; \qquad 22)$$

k_2 – жесткость за пределом текучести при действии горизонтальной силы:

$$k_2 = \frac{F_{\max} - F_y}{d_{db} - d_y}; \qquad (23)$$

$F_{\max}$ – максимальная горизонтальная сила;

F_{y} – горизонтальная сила, характеризующая предел текучести;

F_0 – горизонтальная сила, соответствующая нулевому перемещению при циклической нагрузке;

d_{y} – перемещение при силе, соответствующей пределу текучести;

W – энергия, выделяемая за один цикл, соответствующий расчетному перемещению, равна общей площади петли гистерезиса:

$$W = 4F_0(d_{db} - d_y); \tag{24}$$

9.3.4 Зависимость «сила-перемещение» (F-D) для одномаятниковых сейсмоизолирующих опор (рисунок А.7) приведена на рисунке 6.

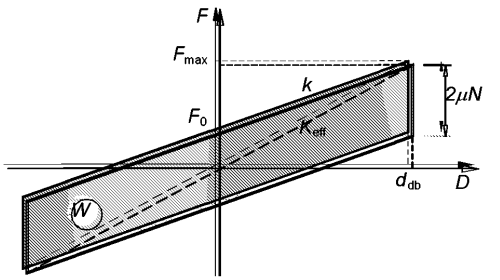


Рисунок 6 – Идеализированная зависимость «сила-перемещение» (F-D) для одномаятниковых сейсмоизолирующих опор

Эффективные жесткости одномаятниковых сейсмоизолирующих опор определяются следующим выражением:

$$K_{eff} = \frac{F_{max}}{d_{db}} = \frac{kd_{db} + \mu N}{d_{db}} = \frac{\frac{N}{R}d_{db} + \mu N}{d_{db}} = \frac{N}{R} + \frac{\mu N}{d_{db}} \tag{25}$$

где k – горизонтальная жесткость опоры после превышения силы трения:

$$k = \frac{N}{R}; \tag{26}$$

F_0 – сила трения в сейсмоизолирующем элементе:

$$F_0 = \mu N \tag{27}$$

N – вертикальная нагрузка на сейсмоизолирующий элемент;

R – радиус кривизны сферических поверхностей;

μ – коэффициента трения скольжения ползуна по сферической поверхности;

W – энергия, выделяемая за один полный цикл при расчетном перемещении d_{db}, равна общей площади петли гистерезиса:

$$W = 4\mu N d_{db} = 4F_0 d_{db} \tag{28}$$

9.3.5 При использовании эквивалентной линейной модели диссипация энергии сейсмоизолирующей системы должна выражаться в виде эквивалентного вязкого демпфирования – «эффективного демпфирования» (ξ_{eff}). Диссипация энергии в опорах должна выражаться как измеренная энергия диссипации в циклическом режиме, с частотой в диапазоне собственных частот колебаний рассмотренных форм. Для форм высшего порядка вне этого диапазона модальный коэффициент демпфирования должен

быть такой же, как у суперструктуры, конструктивно непрерывно связанной с фундаментом.

9.3.6 Значения коэффициента эффективного вязкого демпфирования ξ_{eff} для эластомерных сейсмоизолирующих опор с высокой способностью к диссипации энергии (из высоко демпфирующей резины или со свинцовыми сердечниками, рисунок 5) следует определять в виде:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{2\,F_0(d_{\text{db}} - d_{\text{y}})}{\pi\,K_{\text{eff}}\,d_{\text{db}}^2} \tag{29}$$

9.3.7 Значения коэффициента эффективного вязкого демпфирования ξ_{eff} для одномаятниковых сейсмоизолирующих опор и двухмаятниковых опор с одинаковыми радиусами кривизны верхних и нижних сферических поверхностей и одинаковыми величинами коэффициентов трения скольжения ползуна по сферическим поверхностям (рисунок 6) следует определять в виде:

$$\xi_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\dfrac{d_{\text{db}}}{\mu R} + 1} \tag{30}$$

9.3.8 Если вычисленная эффективная жесткость или эффективное демпфирование сейсмоизолирующих элементов зависит от расчетного перемещения центра эффективной жесткости в рассматриваемом направлении d_{dc} (ф. 37), тогда должен применяться итерационный метод до тех пор, пока разность между допустимой и расчетной величинами d_{dc} достигнет не более 5 % допустимой величины.

9.3.9 Работу сейсмоизолирующей системы следует рассматривать как эквивалентную линейной работе при соблюдении следующих условий:

а) эффективная жесткость системы сейсмоизоляции, как она определена в 9.3.2, составляет не менее 50 % эффективной жесткости при перемещении 0,2 d_{dc};

б) эффективный коэффициент демпфирования системы сейсмоизоляции, как определено в 9.3.5, не превышает 30 % от критического;

в) характеристики работы системы сейсмоизоляции изменяются не более, чем на 10 % при учете скорости нагружения или вертикальных нагрузок;

г) увеличение восстанавливающей силы в системе сейсмоизоляции составляет не менее 2,5 % общей нагрузки от собственного веса суперструктуры для перемещений в пределах от 0,5d_{dc} до d_{dc}.

9.3.10 Если работа системы сейсмоизоляции считается эквивалентно линейной, а сейсмическое воздействие определяется по упругому спектру отклика, как в 9.2, то коррекция демпфирования графика упругого спектра отклика для соответствующих категорий грунта по сейсмическим свойствам должна выполняться умножением на поправочного коэффициента затухания η.

9.4 Упрощенный линейный расчет

9.4.1 В методе упрощенного линейного анализа рассматриваются два горизонтальных динамических перемещения с наложением эффектов кручения при статической нагрузке. Принимается, что суперструктура представляет собой жесткое

тело, перемещающееся над системой сейсмоизоляции, соблюдая условия 9.4.2 и 9.4.3. Тогда эффективный период колебания:

$$T_{eff} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K_{eff}}} \tag{31}$$

где M – масса надземной части;

K_{eff} – эффективная горизонтальная жесткость системы сейсмоизоляции, определяемая в 9.3.2.

Эффективные периоды колебаний эластомерных сейсмоизолирующих опор с высокой способностью к диссипации энергии (из высоко демпфирующей резины (рисунок А.1) или опор со свинцовыми сердечниками (рисунок А.4)) при расчетных перемещениях d_{dc} следует определять в виде:

$$T_{\text{eff}} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K_{\text{eff}}}} = 2\pi\sqrt{\frac{Md_{\text{dc}}}{F_{\text{dc}}}} \tag{32}$$

Эффективные периоды одномаятниковых сейсмоизолирующих опор (рисунок 6) при расчетных перемещениях d_{dc} можно определять так:

$$T_{\text{eff}} = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K_{\text{eff}}}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{R}+\frac{\mu}{d_{\text{dc}}}\right)}} \tag{33}$$

9.4.2 Кручением вокруг вертикальной оси следует пренебречь при оценке эффективной горизонтальной жесткости и в упрощенном линейном анализе, если, в каждом из двух главных горизонтальных направлений, общий эксцентриситет (в том числе, случайный эксцентриситет) между центром жесткости системы сейсмоизоляции и вертикальной проекцией центра массы суперструктуры не превышает 7,5 % длины суперструктуры перпендикулярно рассматриваемому горизонтальному направлению. Это условие является обязательным для применения упрощенного метода линейного анализа.

9.4.3 Упрощенный метод следует применять к системам сейсмоизоляции с эквивалентным линейным демпфированием, если они также удовлетворяют всем нижеследующим условиям:

а) расстояние от площадки до ближайшего потенциально активного сейсмического разлома с магнитудой $M_{\text{s}} \geq 6{,}5$ более 15 км;

б) наибольший размер суперструктуры в плане не более 60 м;

в) субструктура жесткая, чтобы минимизировать влияние различных перемещений грунта;

г) все сейсмоизолирующие устройства расположены выше элементов субструктуры, которые воспринимают вертикальные нагрузки;

д) эффективный период T_{eff} удовлетворяет следующему условию:

$$3T_f \leq T_{eff} \leq 3 \text{ с} \tag{34}$$

где T_f –период основной формы колебаний суперструктуры (определяемый по упрощенному выражению) при допущении, что сооружение конструктивно непрерывно связано с фундаментом.

9.4.4 В сооружениях, в дополнение к 9.4.3, все нижеследующие условия должны выполняться для упрощенного метода, применяемого к системам сейсмоизоляции с эквивалентной линейно демпфируемой диаграммой деформирования:

а) конструктивная система суперструктуры, воспринимающая горизонтальные нагрузки, должна регулярно и симметрично располагаться по двум основным осям сооружения в плане;

б) движением кручения субструктуры допускается пренебречь;

в) отношение вертикальной к горизонтальной жесткости системы сейсмоизоляции должно удовлетворять следующему выражению:

$$\frac{K_v}{K_{eff}} \geq 150 \tag{35}$$

г) период основной формы колебаний в вертикальном направлении T_V должен быть не более 0,1 с:

$$T_V = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K_V}} \tag{36}$$

9.4.5 Перемещение центра жесткости при сейсмическом воздействии должно рассчитываться в каждом горизонтальном направлении из следующего выражения:

$$d_{dc} = \frac{MS_e(T_{eff},\xi_{eff})}{K_{eff,min}} \tag{37}$$

где $S_e(T_{eff}, \xi_{eff})$ – спектральное ускорение, определенное в 9.2 с учетом соответствующей величины эффективного демпфирования ξ_{eff} согласно 9.3.5.

9.4.6 Горизонтальные силы, приложенные к каждому уровню суперструктуры, должны вычисляться в каждом горизонтальном направлении с использованием выражения:

$$f_j = m_j S_e(T_{eff,}\xi_{eff}) \tag{38}$$

где m_j – масса на j-ом уровне.

9.4.7 Система сил, рассмотренная в 9.4.6, вызывает эффекты кручения из-за сочетания естественных и случайных эксцентриситетов.

9.4.8 Если выполняется условие 9.4.2 об исключении кручения вокруг вертикальной оси, то эффекты кручения в отдельных сейсмоизолирующих элементах могут учитываться путем умножения в каждом направлении воздействий, определяемых в 9.4.5 и 9.4.6, на коэффициент δ_1 (для воздействия в направлении x):

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} y_i \tag{39}$$

где y – горизонтальное направление, перпендикулярно рассматриваемому направлению x;

(x_1, y_1) – координаты сейсмоизолирующего i-го элемента относительно центра эффективной жесткости;

$e_{tot,y}$ – суммарный эксцентриситет в направлении y;

r_y – радиус кручения системы сейсмоизоляции в направлении y:

$$r_y^2 = \sum(x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \sum K_{xi} \tag{40}$$

K_{xi} и K_{yi} - эффективные жесткости i-го элемента, соответственно, в направлениях x и y.

9.5 Распределение горизонтальных сейсмических сил

9.5.1 Основные формы колебаний сооружения следует вычислять с использованием методов строительной механики или выражать через горизонтальные перемещения, линейно увеличивающиеся по высоте сооружения.

9.5.2 Сейсмическая сила определяется приложением горизонтальной силы F_i на всех этажах модели в двух плоскостях

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \tag{41}$$

где F_i – горизонтальная сила, действующая на i-й этаж;

F_b– горизонтальная сила в основании сооружения:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \tag{42}$$

где $S_d(T_1)$ – ордината расчетного спектра, соответствующая периоду T_1;

T_1 – период основной формы колебаний сооружения при горизонтальном движении в рассматриваемом направлении;

m – общая масса суперструктуры с учетом сочетаний нагрузок;

s_i, s_j – перемещения масс m_i, m_j основной формы колебания;

m_i, m_j – массы этажей суперструктуры.

9.5.3 Если основные формы колебаний приближенно выражаются горизонтальными перемещениями, линейно увеличивающимися по высоте, горизонтальные силы F_i следует определять в виде:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \tag{43}$$

где z_i, z_j – высоты масс m_i, m_j в уровнях приложения сейсмической силы, определяемые от верха субструктуры.

9.5.4 Горизонтальные силы F_i должны быть приложены к конструкциям, воспринимающим горизонтальную силу, предполагая, что междуэтажные перекрытия в своей плоскости являются жесткими.

9.5.5 Если сооружение симметрично в плане и если случайный эксцентриситет из 9.1.5 определяется более точным методом (например, 9.5.7), случайные эффекты кручения могут учитываться, умножая силы сопротивления отдельных элементов 9.5.3 на множитель δ

$$\delta = 1 + 0{,}6\frac{x}{L_e} \tag{44}$$

где x – расстояние от центра масс рассматриваемого элемента в плане, измеренное перпендикулярно, до линии действия рассматриваемой сейсмической силы;

L_e – расстояние между двумя наиболее удаленными элементами сооружения, противодействующими горизонтальной нагрузке, измеренное перпендикулярно к линии действия рассматриваемой сейсмической силы.

9.5.6 Если расчеты проводятся для моделей в двух плоскостях, по одной для каждого из основных горизонтальных направлений, то влияние кручения следует

определять путем удвоения случайного эксцентриситета e_{ai} в выражении (17) и заменяя коэффициент 0,6 в выражение (43) на 1,2.

9.5.7 Если для расчетов используется пространственная модель, то случайные эффекты кручения могут определяться как сопутствующие эффекты, получаемые в результате приложения статических нагрузок, состоящих из моментов кручения M_{ai} относительно вертикальной оси каждого i–го этажа:

$$M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i \qquad (45)$$

где M_{ai} – момент кручения, приложенный к i–му этажу вокруг его вертикальной оси.

9.6 Упрощенный модальный линейный расчет

9.6.1 Если работа устройств может рассматриваться как эквивалентно линейная, но не выполняется одно из условий 9.4.2 и 9.4.3 или, если применимо 9.4.4, то модальный анализ следует выполнять согласно 9.5.3.

9.6.2 Если удовлетворяются все условия 9.4.3 и, если применимо 9.4.4, то следует использовать упрощенный анализ с учетом горизонтальных перемещений и кручения вокруг вертикальной оси, при этом, допуская, что субструктура и суперструктура работают жестко. В этом случае, при анализе следует учитывать суммарный эксцентриситет (включая случайный эксцентриситет массы суперструктуры по 9.1.5). Тогда перемещения в каждой точке сооружения должны вычисляться путем комбинирования поступательных и вращательных перемещений. Это в значительной степени относится к оценке эффективной жесткости каждого сейсмоизолирующего элемента. Инерционные силы и моменты должны приниматься в расчет для проверки сейсмоизолирующей системы, элементов субструктуры и суперструктуры.

9.7 Модальный расчет с использованием спектра отклика

9.7.1 Общие положения

9.7.1.1 Расчеты могут производиться для сооружений, на реакцию которых не оказывают существенное влияние высшие формы колебаний, по сравнению с основной формой колебаний в каждом основном направлении.

9.7.1.2 Требование подпункта 9.7.1.1 считается выполненным, если выполняются два условия:

а) сооружения имеют основные периоды колебаний T_1 в двух основных направлениях, которые должны быть меньше следующих величин

$$T_1 \le \begin{cases} 4T_c \\ 2c \end{cases} \qquad (46)$$

где значения T_c приведены в таблице 2.

б) сооружения соответствуют критериям регулярности, приведенным в 8.3.3.

9.7.1.3 Необходимо принимать во внимание реакцию всех форм колебаний, вносящих значительный вклад в общую реакцию сооружения.

9.7.1.4 Требования, указанные в 9.7.1.2 могут считаться выполненными, если выполняется какое-либо из перечисленных ниже условий:

- сумма эффективных модальных масс для форм колебаний, принимаемых во внимание, должна быть не менее 90 % от общей массы сооружения;

- принимаются во внимание все формы колебаний с эффективной модальной массой более 5 % от общей массы.

Примечание — Горизонтальная сила в основании - F_{bk}, действующая в направлении приложения сейсмического воздействия, может быть выражена - $F_{bk} = S_d(T_k)\ m_k$ при эффективной модальной массе - m_k, соответствующей k-й форме колебаний. Может быть показано, что сумма эффективных модальных масс (для всех форм колебаний в данном направлении) равняется массе сооружения.

9.7.1.5 При использовании пространственной модели, указанные выше условия в 9.7.1.4 должны быть проверены для каждого направления.

9.7.1.6 Если требования 9.7.1.3 не могут быть выполнены (например, в сооружениях со значительным вкладом крутильной формы колебаний), то минимальное число учтенных в пространственном расчете форм колебаний k должно удовлетворять обоим следующим условиям:

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n} \tag{47}$$

$$T_k \leq 0{,}20\ с \tag{48}$$

где k – число учитываемых форм колебаний;

n – количество этажей суперструктуры;

T_k – период, соответствующий k-ой форме колебаний.

9.7.2 Сочетание модальных реакций

9.7.2.1 Сочетания модальных реакций приведены в 9.2.3

9.7.2.2 Если для расчетов используется пространственная модель, то случайные эффекты кручения могут определяться как в 9.5.7.

9.8 Расчет по записям колебаний грунта во времени

9.8.1 Если система сейсмоизоляции не может быть представлена эквивалентной линейной моделью (т.е. если не выполняются условия 9.3.9), то сейсмическая реакция должна оцениваться путем расчета по записям колебаний грунта во времени, используя математическое описание устройств, которое может адекватно отражать работу системы в диапазоне деформаций и скоростей, предполагаемых при сейсмическом воздействии.

9.8.2 Реакции сооружения во времени следует определять путем непосредственного численного интегрирования дифференциальных уравнений движения с использованием акселерограмм, описанных в 9.4.

9.8.3 Модели конструктивных элементов должны соответствовать 9.8.5-9.8.7, а также правилам, описывающим поведение элемента во время пост-упругих циклах нагрузки-разгрузки. Эти правила должны реалистично отражать рассеяние энергии в элементе в диапазоне амплитуд перемещений, ожидаемых при расчетном сейсмическом воздействии. Математические модели должны быть верифицированы на основании экспериментальных исследований.

9.8.4 Математическая модель, используемая для упругого расчёта, при необходимости должна быть расширена для включения в нее напряжений конструктивных элементов и их нелинейной работы.

9.8.5 Как минимум, билинейная зависимость «сила - перемещение» должна быть использована для несущих элементов. В железобетонных и каменных сооружениях начальная упругая жесткость билинейной зависимости «сила - перемещение» должна соответствовать элементам конструкций без трещин. При приближенных расчетах железобетонных элементов и фрагментов кладки, в которых образуются трещины, допускается принять коэффициент упругой деформации и жесткость на сдвиг сниженными в два раза по сравнению со значениями для элементов без трещин.

В пластичных элементах, в которых предполагается проявление упругопластического поведения во время нагружения, начальная упругая жесткость билинейной зависимости должна быть принята в виде прямой секущей жесткости к точке пластичности. Допускаются трехлинейные зависимости «сила-деформация», которые учитывают работу конструкций до и после образования трещин.

9.8.6 Может быть принята нулевая жесткость после превышения точки пластичности. Если ожидается снижение прочности, например, каменных стен или других хрупких элементов, то оно должно быть учтено в зависимости «сила – перемещение» этих элементов. Указанные параметры зависимостей «сила – перемещение» должны быть обоснованы экспериментальными или теоретическими исследованиями

9.8.7 Если не указано иное, свойства элемента должны основываться на средних значениях свойств материала. Для новых конструкций, средние значения свойств материалов могут быть подсчитаны по соответствующим характерным значениям на основе информации о физико-технических характеристиках материалов.

9.8.8 Вертикальные нагрузки должны учитываться в соответствующих элементах математической модели. Осевые вертикальные нагрузки должны быть учтены при назначении зависимости «сила – перемещение» для элементов конструкций.

9.8.9 Сейсмическая сила должна прикладываться как в положительных, так и отрицательных направлениях, и должны быть использованы максимальные сейсмические воздействия.

9.8.10 Если реакция получена на основе не менее 7 нелинейных расчетов по записям колебаний во времени, с движением грунта в соответствии с 9.4, то среднее значение реакции, определенное в результате всех этих расчетов, должно использоваться как расчетное значение E_d при соответствующих проверках 9.8.11. Иначе, при нелинейных расчетах наиболее неблагоприятное значение из всех реакций должно использоваться в расчетах как E_d.

9.8.11 Для всех конструктивных элементов, включая узлы и соответствующие ненесущие элементы, необходимо соблюдение следующей зависимости:

$$E_d \le R_d \qquad (49)$$

где E_d – величины расчетных комбинаций нагрузок при особом сочетании, включая сейсмическое воздействие;

R_d – соответствующее расчетное сопротивление элемента, вычисленное в соответствии с правилами, специфичными для используемого материала (с точки зрения характерных свойств материала f_k и частного коэффициента надежности по материалу γ_M) и в соответствии с математическими моделями конструктивной системы сооружения.

9.9 Ненесущие элементы

9.9.1 Ненесущие конструкции (выступающие части) сооружений (например, парапеты, фронтоны, антенны, механическое оборудование, перегородки, перемычки, балюстрада), которые в случае обрушения могут представлять риск для людей или оказать влияние на основные конструкции сооружения или функционирование опасных сооружений, должны проверяться вместе с их опиранием на восприятие расчетного сейсмического воздействия.

Примечание – Необходимо учитывать местную передачу воздействий и их влияние на поведение сооружения, закрепляя ненесущие элементы.

9.9.2 Для ненесущих конструкций с высокой степенью ответственности или для особо ответственных элементов сейсмический анализ должен основываться на реальной модели соответствующих сооружений и на использовании соответствующих спектров реакции, которые получены, используя реакции несущих конструктивных элементов основной системы, воспринимающей сейсмическое воздействие.

9.9.3 Во всех остальных случаях разрешается использовать упрощенные процедуры, соответствующим образом обоснованные.

9.9.4 Коэффициент надежности по материалу для ненесущих элементов во всех случаях может быть принят равным 1,0.

Приложение А
(справочное)

Сейсмоизолирующие элементы

А.1 Общие положения

А.1.1 Способность сейсмоизолирующих систем снижать и ограничивать реакцию сооружений на сейсмические воздействия зависит от свойств сейсмоизолирующих элементов, образующих эти системы.

А.1.2 В приложении рассматриваются только апробированные системы сейсмоизоляции, получившие признание в мировой практике сейсмостойкого строительства.

А.1.3 Наиболее широкое распространение в мировой практике сейсмостойкого строительства получили системы сейсмоизоляции, образованные сейсмоизолирующими элементами в виде:

а) эластомерных опор;

б) эластомерных опор со свинцовыми сердечниками;

в) опор фрикционно-подвижного типа с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения;

г) опор фрикционно-подвижного типа со сферическими поверхностями скольжения;

д) кинематических систем с качающимися опорами (как правило, из железобетона).

А.1.4 Сейсмоизолирующие опоры, указанные в:

а) А.1.3,а и А.1.3,б, применяются в сейсмоизолирующих системах первого типа: системы сейсмоизоляции, уменьшающие величины горизонтальных сейсмических нагрузок на суперструктуру за счет изменения частотного спектра ее собственных колебаний – увеличения периодов колебаний суперструктуры по основному тону;

б) А.1.3,в и А.1.3,г применяются в сейсмоизолирующих системах второго типа: системы сейсмоизоляции, ограничивающие уровень горизонтальных сейсмических нагрузок, действующих на суперструктуру;

в) А.1.3,в применяются в сейсмоизолирующих системах третьего типа: системы сейсмоизоляции, сочетающие способность изменять частотный спектр собственных колебаний суперструктуры со способностью ограничивать уровень горизонтальных сейсмических нагрузок, воздействующих на суперструктуру.

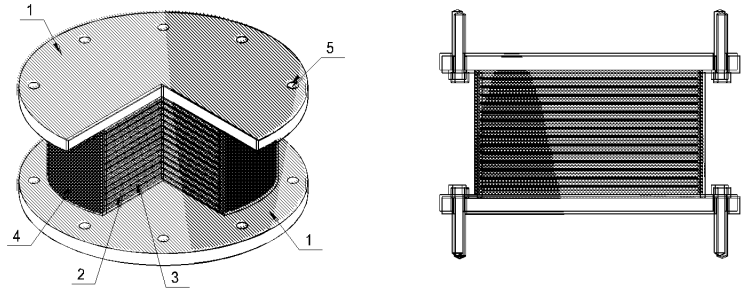
А.1.5 Определенное распространение в практике сейсмостойкого строительства получили комбинированные системы сейсмоизоляции, сочетающие сейсмоизолирующие элементы разных типов (например, указанные в А.1.3,а и А.1.3,в или в А.1.3,в и А.1.3,г).

А.2 Эластомерные опоры

А.2.1 Эластомерные опоры, применяемые для защиты сооружений от сейсмических воздействий, представляют собой слоистые конструкции из поочередно уложенных друг на друга листов натуральной или искусственной резины толщиной 5-20 мм, и листов металла толщиной 1,5-5,0 мм. Сверху и снизу устанавливают фланцевые пластины толщиной 20-40 мм. Листы резины и металла соединены между собой путем вулканизации или с помощью специальных связующих материалов. По

торцам эластомерных опор предусмотрены опорные стальные пластины, через которые опоры крепятся к конструкциям субструктуры и суперструктуры.

А.2.2 Общий вид одного из возможных вариантов конструктивных решений эластомерных опор (иначе их называют резинометаллическими) показан на рисунке А.1.



1 – опорные пластины, закрепляемые к субструктуре и суперструктуре; 2 – листы резины; 3 – стальные пластины, расположенные между листами резины; 4 – резиновая оболочка, защищающая внутренние слои резины и металла; 5 – отверстия под анкерные болты, необходимые для закрепления опоры к субструктуре и суперструктуре

Рисунок А.1 – Эластомерная сейсмоизолирующая опора

А.2.3 Физико-механические свойства резины и металла, а также толщины и размеры в плане листов, выполненных из этих материалов, принимаются в зависимости от требований, предъявляемых к эластомерным опорам в части: диссипативных свойств, прочности, вертикальной и горизонтальной жесткости, долговечности и ряда других эксплуатационных показателей.

А.2.4 Стальные листы в эластомерных опорах препятствуют выпучиванию резиновых листов при действии вертикальных нагрузок и обеспечивают вертикальную жесткость и прочность опор. Резиновые листы, обладающие низкой сдвиговой жесткостью, обеспечивают горизонтальную податливость эластомерных опор.

А.2.5 Эластомерные опоры, благодаря их низкой сдвиговой жесткости, изменяют частотный спектр собственных горизонтальных колебаний суперструктуры, а восстанавливающие силы, возникающие при деформациях опор, стремятся возвратить суперструктуру в исходное положение.

Примечания

1 Эластомерные опоры могут воспринимать усилия сжатия, растяжения, сдвига и кручения при циклических перемещениях в горизонтальном и вертикальном направлениях.

2 При расчетных гравитационных нагрузках вертикальные деформации эластомерных опор, как правило, не превышают нескольких миллиметров. При горизонтальных нагрузках опоры могут деформироваться на несколько сот миллиметров (рисунок А.2).

А.2.6 Эластомерные опоры, в зависимости от своих диссипативных свойств, подразделяются на два вида:

– опоры с низкой способностью к диссипации энергии;

– опоры с высокой способностью к диссипации энергии.

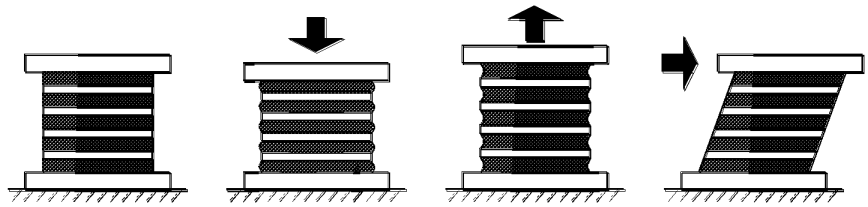


Рисунок А.2 – Деформации эластомерных опор при вертикальных и горизонтальных нагрузках

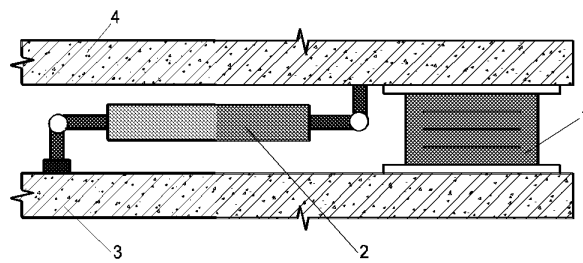
А.2.7 Эластомерными опорами с низкой способностью к диссипации энергии являются опоры, диссипативные свойства которых характеризуются коэффициентом вязкого демпфирования ξ, значения которого не превышают 5 % от критического значения.

А.2.8 Производят эластомерные опоры с низкой способностью к диссипации энергии из пластин натуральной или искусственной резины, изготовленной по технологиям, не предусматривающим повышения ее демпфирующих свойств.

Примечание -- Значения коэффициента ξ, характеризующего диссипативные свойства эластомерных опор с низкой способностью к диссипации энергии, зависят от сил внутреннего трения, возникающих в деформирующихся опорах и, как правило, составляют 2-3 %.

А.2.9 Эластомерные опоры с низкой способностью к диссипации энергии просты в изготовлении, малочувствительны к скоростям и истории нагружения, а также к температуре и старению. Для них типично линейное поведение при деформациях сдвига до 100 % и более.

А.2.10 Эластомерные опоры с низкой способностью к диссипации энергии применяют, как правило, совместно со специальными демпферами вязкого или гистерезисного типа (рисунок А.3), позволяющими компенсировать низкую способность эластомерных опор к диссипации энергии сейсмических колебаний.



1 – эластомерная сейсмоизолирующая опора; 2 – демпфер; 3 – субструктура; 4 – суперструктура

Рисунок А.3 – Фрагмент сейсмоизолирующей системы, состоящей из эластомерной опоры с низкой способностью к диссипации энергии и демпфера

А.2.11 Эластомерными опорами с высокой способностью к диссипации энергии являются опоры, диссипативные свойства которых характеризуются коэффициентом вязкого демпфирования ξ со значениями не менее 10 % и не более 20 %.

Примечание -- Диссипативные свойства таких опор зависят в основном от гистерезисных процессов в резине (затрат энергии на ее пластические и нелинейно-упругие деформации) и, как правило, характеризуются значениями ξ в пределах 10-20 %.

А.2.12 Эластомерные опоры с высокой способностью к диссипации энергии состоят из пластин резины, изготовленной по специальным технологиям, обеспечивающим повышение ее демпфирующих свойств до требуемого уровня.

А.2.13 Эластомерные опоры с высокой способностью к диссипации энергии обладают способностью к горизонтальным сдвиговым деформациям до 200-350 %. Их эксплуатационные, жесткостные, диссипативные характеристики зависят от скоростей и истории нагружения, температуры окружающей среды и старения.

А.2.14 Для эластомерных опор с высокой способностью к диссипации энергии типично нелинейное поведение.

А.3 Эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками

А.3.1 Эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками, как правило, изготавливают из пластин резины, обладающей низкими диссипативными свойствами. Свинцовый сердечник располагают в заранее сформированных отверстиях в центре или по периметру опоры и имеет суммарный диаметр от 15 % до 33 % от внешнего диаметра опоры.

Общий вид одного из возможных вариантов конструктивных решений эластомерных опор со свинцовыми сердечниками показан на рисунке А.4.

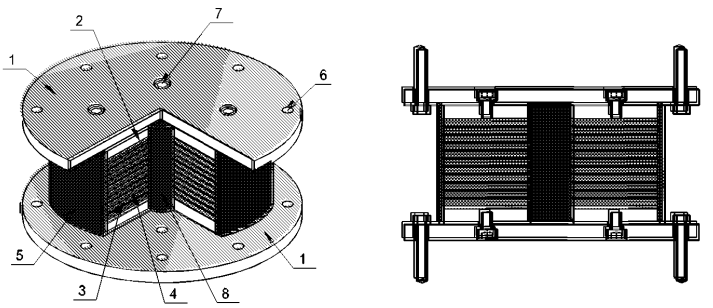
А.3.2 Благодаря комбинации резиновых и металлических слоев в опоре со свинцовыми сердечниками, обеспечивающими гистерезисную диссипацию энергии при горизонтальных деформациях, они обладают:

– высокой вертикальной жесткостью при эксплуатационных нагрузках;

– высокой горизонтальной жесткостью при действии горизонтальных нагрузок низкого уровня;

– низкой горизонтальной жесткостью при действии горизонтальных нагрузок высокого уровня;

– высокой способностью к диссипации энергии.



1 – опорные пластины, закрепляемые к субструктуре и суперструктуре; 2 – фланцевые стальные пластины; 3 – стальные пластины, расположенные между пластинами резины; 4 – пластины резины; 5 – резиновая оболочка, защищающая внутренние слои резины и металла; 6 – отверстия под анкерные болты, необходимые для закрепления опоры к субструктуре и суперструктуре; 7 – отверстия под шпонки; 8 – свинцовый сердечник

Рисунок А.4 – Эластомерная опора со свинцовым сердечником

А.3.3 Диссипативные свойства эластомерных опор со свинцовыми сердечниками зависят от величин их горизонтальных сдвиговых деформаций и характеризуются коэффициентом эффективного вязкого демпфирования ξ в пределах от 15 до 35 %.

А.3.4 Эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками способны иметь горизонтальные сдвиговые деформации величиной до 400 %. При этом их параметры менее чувствительны к величинам вертикальных нагрузок, скоростям и истории нагружения, температуре окружающей среды и старению, чем параметры опор в А.2.

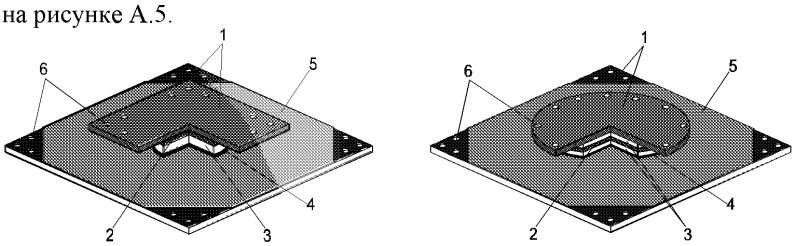
А.3.5 При низких уровнях горизонтальных воздействий (например, при ветровых или слабых сейсмических воздействиях) эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками работают в горизонтальных и вертикальном направлениях как жесткие элементы, а при высоких уровнях горизонтальных воздействий – как элементы податливые в горизонтальных направлениях и жесткие в вертикальном.

А.3.6 Перечисленные выше свойства делают эластомерные опоры со свинцовыми сердечниками наиболее часто применяемым типом сейсмоизолирующих элементов в зонах с высокой сейсмичностью.

А.4 Опоры фрикционно-подвижного типа с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения

А.4.1 Сейсмоизолирующие опоры фрикционно-подвижного типа с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения (или плоские скользящие опоры) выполняются в виде верхних и нижних жестких элементов, примыкающие горизонтальные поверхности которых имеют покрытия из слоя синтетического материала с низким значением коэффициента трения скольжения (например, фторопласта или металлофторопласта в паре с нержавеющей сталью).

Общий вид двух вариантов конструктивных решений плоских скользящих опор показан на рисунке А.5.



1 – опорные стальные пластины, закрепляемые к субструктуре и суперструктуре; 2 – пластины резины; 3 – внутренние стальные пластины; 4 – покрытие (например, из фторопласта) нижней части скользящей опоры; 5 – стальная пластина (например, из нержавеющей стали), по которой происходит скольжение; 6 – отверстия под анкерные болты, необходимые для закрепления опоры к субструктуре и суперструктуре

Рисунок А.5 – Плоские скользящие опоры

А.4.2 Плоские скользящие опоры имеют довольно низкий порог срабатывания и обеспечивают намного бóльшее рассеивание энергии, чем эластомерные опоры со свинцовым сердечником (ξ=63,7 %). Однако, из-за отсутствия в опорах восстанавливающих сил, при интенсивных сейсмических воздействиях суперструктура может иметь допускаемые односторонние перемещения в пределах нижней опорной

пластины после прекращения действия сейсмических нагрузок. Эти перемещения не влияют на напряженно деформированное состояние суперструктуры и субструктуры.

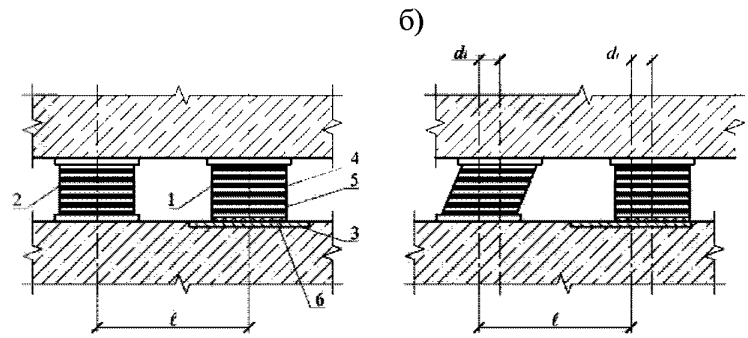
А.4.3 Для ограничения чрезмерных односторонних горизонтальных перемещений суперструктуры относительно субструктуры в сейсмоизолирующую систему, образованную плоскими скользящими опорами, как правило, вводятся дополнительные упругие элементы-ограничители (амортизаторы).

Примечание – Величины допускаемых перемещений должны устанавливаться на основе дополнительного анализа.

А.4.4 В качестве альтернативных вариантов, обеспечивающих ограничение чрезмерных односторонних горизонтальных перемещений суперструктуры относительно субструктуры, рекомендуется:

– предусматривать в скользящих поясах конструктивные элементы, обеспечивающие возможность использования соответствующего силового оборудования, возвращающего плоские опоры скольжения в исходное положение после прекращения сейсмического воздействия;

– в состав «скользящих поясов» включать дополнительные сейсмоизолирующие элементы, способные ограничивать величины перемещений и возвращать плоские опоры скольжения в исходное положение (рисунок А.6).



1 – плоская скользящая опора; 2 – эластомерная опора; 3 – нижняя стальная пластина (например, из нержавеющей стали), по которой происходит скольжение; 4 – пластины из резины; 5 – стальные пластины; 6 - слой из фторопласта

Рисунок А.6 – Фрагмент сейсмоизолирующей системы, образованной плоскими скользящими опорами и эластомерными опорами

А.5 Фрикционно-подвижные опоры со сферическими поверхностями скольжения

А.5.1 Сейсмоизолирующие фрикционно-подвижные опоры со сферическими поверхностями скольжения (или маятниковые скользящие опоры) – это скользящие опоры, в которых контактные поверхности скольжения имеют сферическую форму.

Примечания

1 Сейсмоизолирующие фрикционно-подвижные опоры со сферическими поверхностями скольжения называют маятниковыми скользящими опорами, так как расположенная на них суперструктура совершает при сейсмических воздействиях колебания, подобные движениям маятника при наличии трения (рисунки А.7-А.8).

2 Маятниковые опоры, в которых энергия диссипируется за счет сил трения качения (шаровые и катковые опоры, кинематические фундаменты и подобные им сейсмоизолирующие элементы с низкой способностью к диссипации энергии), в настоящем СП не рассматриваются.

А.5.2 Конструктивные решения всех видов маятниковых скользящих опор предусматривают наличие:

– одной или нескольких вогнутых сферических поверхностей скольжения;

– одного или нескольких ползунов;

– ограждающих бортиков, ограничивающих горизонтальные перемещения ползунов.

Элементы маятниковых скользящих опор изготавливаются, как правило, из нержавеющей стали, а их сферические поверхности имеют покрытия из материалов, обладающих заданными фрикционными свойствами.

А.5.3 Маятниковые скользящие опоры, в зависимости от особенностей конструктивных решений, подразделяются на опоры:

– с одной сферической поверхностью скольжения; далее – одномаятниковые скользящие опоры;

– с двумя сферическими поверхностями скольжения; далее – двухмаятниковые скользящие опоры;

– с четырьмя сферическими поверхностями скольжения; далее – трехмаятниковые скользящие опоры.

А.5.4 В маятниковых опорах всех типов:

– формы ползунов и плит обеспечивают однородное распределение напряжений в местах их примыкания и исключают возможность возникновения неблагоприятных локальных эффектов;

– при перемещениях ползунов по сферическим поверхностям, суперструктура приподнимается и составляющая гравитационной силы, параллельная горизонтальной поверхности, стремится вернуть ее в положение устойчивого равновесия;

– диссипативные свойства взаимосвязаны с фрикционными свойствами материалов, контактирующих на сопрягаемых сферических поверхностях плит и ползунов; наиболее часто они характеризуются коэффициентом эффективного вязкого демпфирования ξ со значениями в пределах от 10 до 30 %.

А.5.5 Спектр собственных колебаний суперструктур, сейсмоизолированных с помощью маятниковых опор всех типов, практически не зависит от массы суперструктур.

А.5.6 Одномаятниковая скользящая опора состоит из двух горизонтальных плит, одна из которых имеет сферическую вогнутую поверхность, и расположенного между плитами сферического шарнирного ползуна.

Общий вид и схема поведения одномаятниковой скользящей опоры показаны на рисунке А.7, а принцип действия – на рисунке А.8.

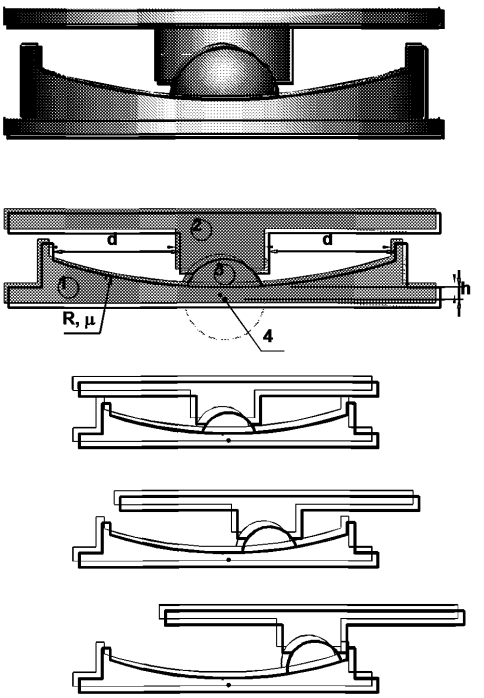
А.5.7 Особенности поведения и сейсмоизолирующие свойства одномаятниковой скользящей опоры зависят от радиуса кривизны сферической поверхности R и величины коэффициента трения скольжения μ ползуна по сферической поверхности.

Примечание -- Спектр собственных колебаний суперструктуры, сейсмоизолированной с помощью одномаятниковых скользящих опор, зависит преимущественно от выбранного радиуса кривизны сферической поверхности в опорной плите сейсмоизолирующей опоры и не зависит от интенсивности внешнего воздействия, а также амплитуд колебаний суперструктуры.

А.5.8 Современные сейсмоизолирующие системы с одномаятниковыми скользящими опорами способны обеспечивать:

– периоды колебаний суперструктур до 3 с и более;

– взаимные перемещения субструктур и суперструктур до 1 м и более.



1 – нижняя стальная плита со сферической вогнутой поверхностью, по которой происходит скольжение; 2 – верхняя стальная плита; 3 – сферический шарнирный ползун; 4 – точка поворота

Рисунок А.7 – Общий вид и схема поведения одномаятниковой опоры

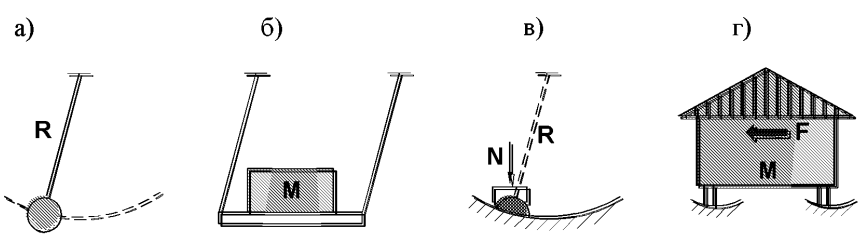
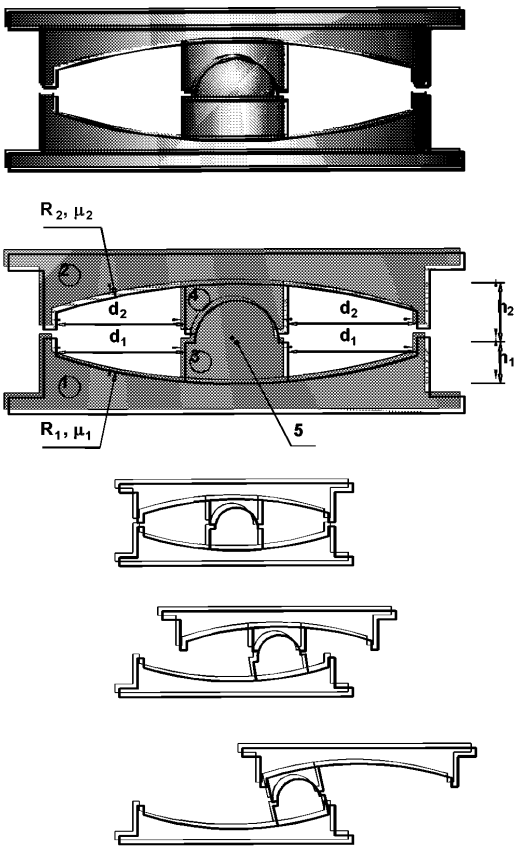


Рисунок А.8 – Принцип действия одномаятниковой опоры
а - колебания гравитационного маятника с одной точкой подвеса; б - колебания гравитационного маятника с двумя точками подвеса; в - маятниковые колебания при скольжении сферического ползуна по сферической поверхности; г - сооружение на маятниковых опорах

А.5.9 Двухмаятниковая скользящая опора состоит из двух горизонтальных плит, имеющих сферические вогнутые поверхности, и расположенных между ними двух ползунов.

Общий вид и схема поведения двухмаятниковой скользящей опоры показаны на рисунке А.9.



1 – нижняя стальная плита со сферической вогнутой поверхностью; 2 – верхняя стальная плита со сферической вогнутой поверхностью; 3 – верхний ползун со сферической вогнутой поверхностью; 4 – нижний ползун со сферической выпуклой поверхностью; 5 – точка поворота

Рисунок А.9 – Общий вид и схема поведения двухмаятниковой опоры

А.5.10 Особенности поведения двухмаятниковой скользящей опоры зависят от радиусов кривизны верхних и нижних сферических поверхностей R_1 и R_2, а также величин коэффициентов трения скольжения μ_1 и μ_2 ползунов по сферическим поверхностям.

А.5.11 В двухмаятниковых скользящих опорах радиусы сферических вогнутых поверхностей и коэффициенты трения могут быть одинаковыми или разными.

Важное достоинство двухмаятниковых скользящих опор – это их более компактные размеры, чем у одномаятниковых.

Примечание - В двухмаятниковых скользящих опорах реализован механизм двух маятников, последовательно включающихся в работу в зависимости от спектрального состава и интенсивности сейсмических воздействий.

А.5.12 В двухмаятниковых скользящих опорах движения шарнирных ползунов могут происходить по верхним и по нижним сферическим поверхностям (см. рисунок А.9). Благодаря этому, взаимные смещения двухмаятниковых скользящих опор могут быть в два раза больше, чем у одномаятниковых скользящих опор с теми же габаритными размерами.

А.5.13 Возможность использования в двухмаятниковых скользящих опорах верхних и нижних сферических поверхностей с разными радиусами кривизны и коэффициентами трения, позволяет увеличить сейсмоизолирующие свойства этих опор.

А.5.14 Трехмаятниковая скользящая опора состоит их двух плит (верхней и нижней) со сферическими вогнутыми поверхностями и трех ползунов (верхнего, нижнего и внутреннего) со сферическими поверхностями. Общий вид и схема поведения трехмаятниковой скользящей опоры показаны на рисунке А.10.

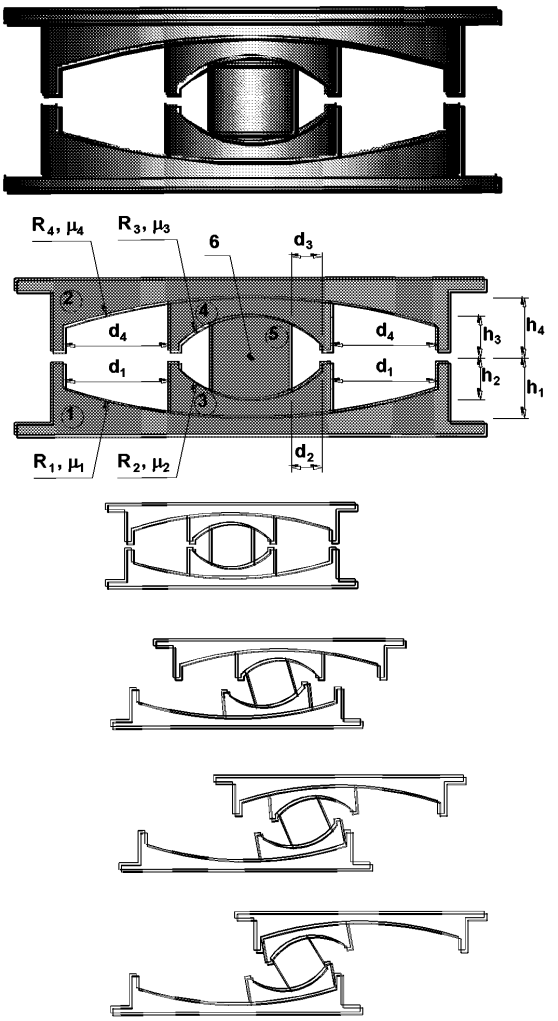
А.5.15 Особенности поведения трехмаятниковой скользящей опоры зависят от радиусов кривизны верхних и нижних сферических поверхностей R_1, R_2, R_3 и R_4, а также величин коэффициентов трения скольжения μ_1, μ_2, μ_3 и μ_4 ползунов по сферическим поверхностям.

А.5.16 В трехмаятниковых скользящих опорах, как и в двухмаятниковых, радиусы сферических вогнутых поверхностей и коэффициенты трения могут быть одинаковыми или разными.

Примечание - В трехмаятниковой скользящей опоре реализован механизм трех маятников, последовательно включающихся в работу в зависимости от спектрального состава и интенсивности сейсмических воздействий. По мере увеличения перемещений трехмаятниковых опор будут увеличиваться эффективная длина маятника (увеличиваться период колебаний суперструктуры) и повышаться эффективное демпфирование.

А.5.17 Комбинируя значения радиусов кривизны сферических поверхностей и коэффициентов трения скольжения можно запроектировать трехмаятниковые скользящие опоры, способные эффективно снижать сейсмические нагрузки на суперструктуру при землетрясениях с очень высокой интенсивностью и со сложным спектральным составом.

А.5.18 Верификация ожидаемого сейсмического поведения представленных систем с помощью экспериментальных и аналитических исследований приведет к более уверенному обеспечению их сейсмической надежности.



1 – нижняя стальная плита со сферической вогнутой поверхностью; 2 – верхняя стальная плита со сферической вогнутой поверхностью; 3 – нижний ползун со сферической вогнутой поверхностью; 4 – верхний ползун со сферической вогнутой поверхностью; 5 – внутренний шарнирный ползун; 6 – точка поворота

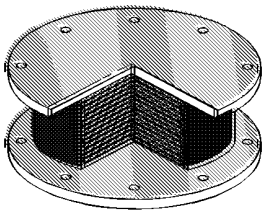
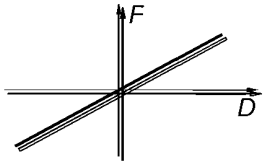
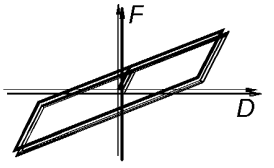
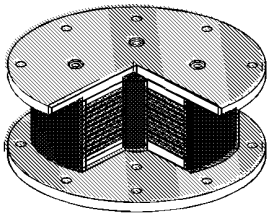
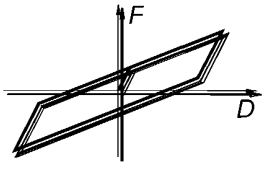
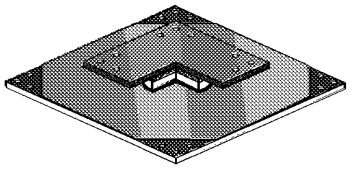
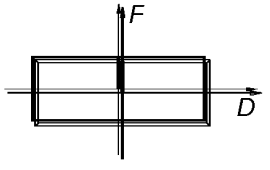
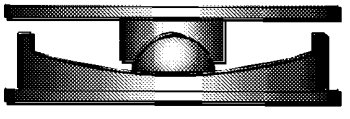
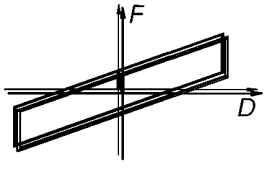
Рисунок А.10 – Общий вид и схема поведения трехмаятниковой опоры

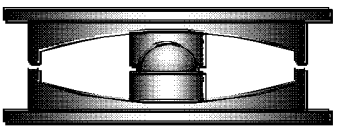
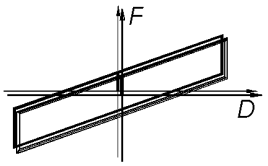
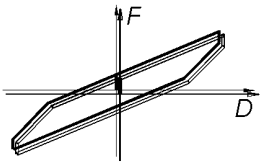
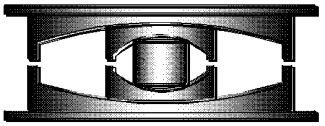
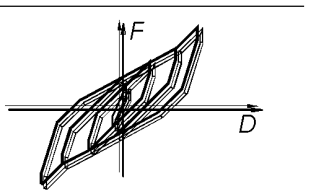
Приложение Б
(справочное)

Моделирование систем сейсмоизоляции

Идеализированные зависимости «нагрузка-перемещение», используемые для описания поведения систем сейсмоизоляции при сейсмических воздействиях, представлены в таблице Б.1.

Т а б л и ц а Б.1 — **Идеализированные зависимости «нагрузка-перемещение», используемые для описания поведения систем сейсмоизоляции**

Типы сейсмоизолирующих элементов		Схемы сейсмоизолирующих элементов	Идеализированная зависимость «нагрузка-перемещение» (F-D)
Эластомерные опоры	с низкой способностью к диссипации энергии		
	с высокой способностью к диссипации энергии		
	со свинцовым сердечником		
Фрикционно-подвижные опоры	с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения		
	одномаятниковые со сферическими поверхностями скольжения		

	двухмаятниковые со сферическими поверхностями скольжения при $R_1=R_2$ и $\mu_1 \approx \mu_2$		
	двухмаятниковые со сферическими поверхностями скольжения при $R_1=R_2$ и $\mu_1 \neq \mu_2$		
	трехмаятниковые со сферическими поверхностями скольжения		

Библиография

[1] Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ

[2] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

[3] Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

[4] Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

[5] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности сооружений»

[6] BS EN 1998-1:2004. English version. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standartization. This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 8 April 2005. 233 p.

[7] International Building Code. IBC 2012. Standard published 05/01/2011 by International Code Council. p. 690.

[8] Проектирование сейсмостойких зданий. Часть: Сейсмоизолирующие фундаменты. Общие положения. НТП РК X.XX-XX-XX-XXXX (Проект). Казахстан, Астана. 2013. 83 с.

УДК [69+699.841]

Ключевые слова: сооружения сейсмоизолированные сейсмостойкие, пассивная система сейсмоизоляции, карты сейсмического районирования, сейсмичность площадки, балл, сейсмическое воздействие, акселерограмма землетрясения, абсолютное предельное состояние, предельное состояние по ограничению ущерба, расчетная динамическая модель, сейсмическая изоляция, сейсмоизолирующие элементы, демпфирующие элементы, коэффициент динамичности, форма колебаний, сейсмостойкость сооружения

Издание официальное

Свод правил

СП

Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные.

Правила проектирования

Тираж экз. Заказ №

gost.e-ecolog.ru