



СТАНДАРТ СТО ЦВС 01-2022

Система менеджмента качества

СТАНЦИИ АТОМНЫЕ

СИСТЕМЫ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИЕ

Требования к проектированию, сооружению и эксплуатации

Утверждаю
Директор _____ В.В. Костарев
09 ноября 2022 г.

Санкт-Петербург 2022 г.

Введен приказом № 38 от 09 ноября 2022 г.

Содержание

1. Назначение и область применения	3
1.1 Назначение.....	3
1.2 Область применения.....	3
2. Термины, определения	4
3. Сокращения.....	6
4. Основные положения.....	8
5. Основные требования к СИС	9
6. Требования к СИС при запроектном землетрясении	12
7. Требования к проектированию СИС	13
8. Проектные критерии применимости элементов СИС.....	16
9. Требования к моделированию и поверочным расчетам объектов с СИС	18
10. Проектирование распределительных систем, пересекающих границу сейсмоизоляции.....	20
11. Требования по испытаниям прототипов элементов СИС.....	21
12. Требования к производству элементов СИС и контролю качества	22
13. Требования к монтажу	23
14. Контроль характеристик СИС в процессе возведения верхнего строения	24
15. Контроль СИС в процессе эксплуатации	25
16. Независимая экспертиза	26
17. Порядок внесения изменений	27
18. Нормативные документы	28
Приложение А (справочное). Типы и свойства сейсмоизолирующих систем и их элементов	29
Приложение В (справочное). Принципиальные схемы СИС	38
Приложение С (справочное). Методы упрощенной оценки эффективности и параметров движения СИС на ранних этапах проектирования	40
Лист регистрации изменений.....	45

1. Назначение и область применения

1.1 Назначение

Настоящий стандарт устанавливает правила и требования к проектированию, сооружению и эксплуатации сейсмоизолирующих систем атомных станций при разработке мероприятий по защите зданий и сооружений АС от землетрясений с применением СИС.

Настоящий стандарт предназначен для применения проектными, монтажными и эксплуатирующими организациями при разработке мероприятий по защите зданий и сооружений АС от землетрясений с применением СИС.

В настоящем стандарте реализованы положения Федерального закона от 30.12.2009 № 74-ФЗ «Об использовании атомной энергии», учтены требования и рекомендации нормативно правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, НП-031-01, НП-068-05, НП 001-15, НП 064-17 а также рекомендации руководств по безопасности МАГАТЭ No. SSG 67 и No. NS-G-2.13.

1.2 Область применения

Область применения данного стандарта распространяется на проектирование, монтаж и эксплуатацию СИС:

- проектирование СИС для новых (проектируемых) АС в условиях высокой сейсмичности площадки строительства;
- модернизацию существующих АС с применением технологии СИС при появлении новых – более жестких требований по сейсмическому воздействию.

2. Термины, определения

В настоящем стандарте использованы следующие термины с соответствующими определениями:

акселерограмма: зависимость ускорения колебаний от времени
[1], статья Основные термины и определения

акселерограмма поэтажная: ответная акселерограмма для отдельных высотных отметок сооружения, на которых установлено оборудование.
[1], статья Основные термины и определения

вероятностный анализ сейсмической опасности: метод определения вероятности превышения конкретного уровня движения грунта при землетрясениях.
[7]

верхнее строение: часть здания или сооружения, опирающаяся на элементы СИС.

запроектное землетрясение: землетрясение максимальной интенсивности на площадке АС с вероятностью превышения 10^{-5} в год (с повторяемостью один раз в 100 000 лет).

кривая сейсмической опасности: представленное на графике множество значений частот превышения сейсмических воздействий заданной интенсивности в зависимости от принятого параметра интенсивности сейсмического воздействия. В вероятностном анализе кривые сейсмической опасности разрабатываются для различных уровней доверительной вероятности.

максимальное расчетное землетрясение: землетрясение максимальной интенсивности на площадке АС с вероятностью превышения 10^{-4} в год (с повторяемостью один раз в 10 000 лет). [1], статья Основные термины и определения.

несущая способность элемента СИС: свойство элемента СИС воспринимать весовую нагрузку.

нижнее строение: часть здания или сооружения, на которую опираются элементы СИС.

объект с СИС: здание или сооружение, состоящее из верхнего строения, слоя сейсмоизоляции и нижнего строения.

проектное землетрясение: землетрясение максимальной интенсивности на площадке АС с вероятностью превышения 10^{-3} в год (с повторяемостью один раз в 1000 лет). [1] статья Основные термины и определения.

прототип элемента СИС: репрезентативный полнофункциональный образец, выполняющий все функции, требуемые для конечного изделия, выполненный в масштабе конечного продукта и изготовленный по соответствующей технологии.

распределительные системы: трубопроводы, кабельные трассы, воздуховоды.

сейсмическая опасность (в вероятностном анализе сейсмической опасности): представляется в виде ожидаемых (в течение заданного интервала времени) частот превышения сейсмических воздействий различной интенсивности на площадке АС. Интенсивность воздействия характеризуется параметром (максимальным ускорением поверхности грунта, спектральным ускорением поверхности грунта при заданной частоте и коэффициенте демпфирования и т.п.). Период времени обычно задается равным одному году, а оцененная частота называется годовой частотой воздействия.

сейсмическая повреждаемость элемента (сооружения, оборудования или их составной части) при сейсмическом воздействии заданной интенсивности: условная вероятность отказа элемента при достижении на свободной поверхности грунта заданного уровня интенсивности сейсмического воздействия. Уровень сейсмического воздействия может быть задан спектром ответа (реакции) этого воздействия на свободной поверхности площадки. Сейсмическая повреждаемость не зависит от сейсмической опасности площадки расположения рассматриваемого объекта, но учитывает спектральный состав воздействия на него.

сейсмический риск: вероятность тяжелых аварий для блока АС, обусловленных сейсмическими воздействиями;

сейсмоизолирующая система (система сейсмоизолирующая): комплект оборудования и конструкций, необходимых для обеспечения функций сейсмической изоляции. Может включать сейсмоизоляторы, демпферы, ограничители перемещений, их опоры и элементы анкеровки;

система мониторинга СИС: комплекс аппаратно-программных средств, позволяющий отслеживать поведение контролируемой СИС, регистрировать историю и предупреждать о возникновении отклонений от нормальной эксплуатации;

слой сейсмоизоляции: пространство между нижним и верхним строениями, в котором расположены элементы СИС;

элемент СИС: единичный компонент СИС (эластомерная опора, пружинный блок, демпфер, ограничитель перемещений или иное устройство).

3. Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

АС	– атомная станция;
ВАСО	– вероятностный анализ сейсмической опасности;
ВАБ	– вероятностный анализ безопасности;
ВУВ	– воздушная ударная волна;
ЗЗ	– запроектное землетрясение;
ИС	– исходное событие;
МРЗ	– максимальное расчетное землетрясение;
НДС	– напряженно-деформированное состояние;
ННЭ	– нарушение нормальной эксплуатации;
НЭ	– нормальная эксплуатация;
ПЗ	– проектное землетрясение;
ПС	– падение самолёта;
СВАБ	– вероятностный анализ безопасности при сейсмическом воздействии;
СИС	– сейсмоизолирующая система;
СТО	– стандарт организации;
BCS	– Base Control System – система контроля сейсмических перемещений. Тип 3D СИС, состоящий из блоков витых цилиндрических пружин и вязких демпферов;
CHS	– Cylindrical Helical Springs - цилиндрические витые пружины;
D	– Displacement – перемещение;
F	– Friction – трение;
FB	– Friction Bearing – опора трения;
FPB	– Friction Pendulum Bearing – скользящая маятниковая опора;
HDRB	– High Damped Rubber Bearing - ламинированная эластомерная опора с высоким демпфированием;
LDRB	– Low Damped Rubber Bearing - ламинированная эластомерная опора с низким демпфированием;
LRB	– Lead Rubber Bearing - ламинированная эластомерная опора со свинцовым сердечником;
V	– velocity – скорость (важно не только значение величины, но и направление ее движения);
VD	– Viscous Damper – вязкий демпфер;

- 1D – One directional – однонаправленный;
- 3D – Three directional – пространственный в трех направлениях.

4. Основные положения

СИС предназначена для снижения сейсмических нагрузок на здание или сооружение, его основание, трубопроводы и оборудование путем размещения между грунтом (основанием) и защищаемым объектом специальных устройств, исключающих полную передачу вибрационной энергии и перемещений от поверхности земли к защищаемому объекту.

Применение СИС позволяет обеспечить сейсмическую безопасность АС.

Настоящий стандарт устанавливает общие подходы и требования при проектировании СИС для каждого здания и сооружения АС с учетом конкретных грунтовых условий, особенностей конструкции здания (сооружения) и специфики исходного сейсмического воздействия.

Применение СИС добавляет к проекту АС ещё одну систему, являющуюся частью конструкции здания или сооружения АС, для которой формулируются специфические требования, изложенные в данном стандарте.

5. Основные требования к СИС

5.1 СИС должна обеспечивать следующие функции при сейсмических воздействиях и сохранять свою работоспособность при всех нагрузках, внешних и внутренних воздействиях, заданных проектом АС, за исключением ЗЗ, требования по которому приведены в разделе 6:

- 1) нести весовую нагрузку верхнего строения;
- 2) снижать сейсмические нагрузки, действующие на верхнее строение;
- 3) ограничивать относительные сейсмические смещения верхнего строения в пределах, установленных проектом;
- 4) после прохождения землетрясения возвращать верхнее строение в исходное положение или близкое к нему. Пределы допускаемых остаточных смещений устанавливаются проектом с учетом вероятных афтершоков;
- 5) ограничивать величины крена верхнего строения в соответствии с требованиями проекта и действующими Нормами.

5.2 Отказ одного или заданного в проекте количества элементов СИС не должен приводить к нарушению требований п. 5.1. При этом НДС здания/сооружения должно оставаться в определенных проектом безопасных пределах.

5.3 Указанные в п. 5.1 функции СИС должны быть обеспечены при МРЗ для зданий и сооружений I-й категории сейсмостойкости и при ПЗ для зданий и сооружений II-й категории сейсмостойкости по классификации НП-031-01.

5.4 При проверке функциональности СИС в расчетах на ПЗ и МРЗ не допускается снижение исходного сейсмического воздействия путем применения понижающих коэффициентов, таких как K_e (приложение 4, НП-031-01).

5.5 Применение СИС не должно препятствовать обеспечению безопасности АС при прочих внешних воздействиях, определенных проектом АС (ПС, ВУВ и т.п.)

5.6 Разброс характеристик элементов СИС не должен превышать 20%, если иное не определено проектом. Разброс должен быть подтвержден испытаниями натуральных образцов и учтен в проектных и поверочных расчетах, а также контролироваться при производстве элементов СИС и далее в процессе эксплуатации.

5.7 Элементы СИС должны быть пассивными, то есть не использовать системы прямой и обратной связи, электронные компоненты и не требовать подключения к источникам питания.

5.8 При применении СИС должна быть разработана и внедрена система мониторинга СИС, с регистрацией относительных перемещений во время монтажа, строительства, сооружения, испытаний, сдачи в эксплуатацию, во время эксплуатации и ремонта.

5.9 При эксплуатации должна быть предусмотрена возможность замены элементов СИС без повреждения окружающих конструкций.

5.10 Элемент СИС не должен быть повреждён в процессе замены и должен быть пригодным для исследования и испытаний.

5.11 При извлечении одного элемента СИС работоспособность СИС в целом, НДС строительной конструкции и уровень безопасности АС должны оставаться в допустимых пределах.

5.12 СИС должна обеспечивать возврат верхнего строения в исходное положение или близкое к нему в пределах 5% от максимального сейсмического смещения, в течение одной минуты после прохождения землетрясения для противодействия возможным афтершокам, если иное не установлено проектом. Допустимые остаточные смещения и время возврата должны быть определены в проекте.

5.13 Должны быть разработаны программы и инструкции по монтажу, эксплуатации, инспекции, испытаниям, техническому обслуживанию и замене, в случае необходимости, элементов СИС.

5.14 Объект с СИС должен отвечать требованиям норм и правил, которые применяются к зданиям и сооружениям АС, возводимым в сейсмоопасных районах.

5.15 Срок службы СИС определяется проектом АС и должен включать периоды её строительства, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

5.16 При расчетах циклической прочности элементов СИС для зданий и сооружений I-й категории сейсмостойкости по классификации НП-031-01 учитываются воздействие МРЗ – 1 раз за срок службы и воздействие ПЗ – 5 раз за срок службы.

При расчетах циклической прочности элементов СИС для зданий и сооружений II-й категории сейсмостойкости по классификации НП-031-01 учитывается воздействие ПЗ – 5 раз за срок службы.

Количество циклов при каждом воздействии задается равным 10.

5.17 В случае, если проектом АС определены афтершоки, они также должны быть учтены в расчетах циклической прочности СИС.

5.18 При выполнении СВАБ для объекта с СИС должны быть учтены:

1. снижение сейсмического риска за счет уменьшения сейсмической нагрузки на верхнее и нижнее строения, на основании здания/сооружения;
2. снижение сейсмического риска за счет уменьшения сейсмической нагрузки на расположенные в здании/сооружении оборудование и распределительные системы;
3. повышение сейсмического риска за счет роста сейсмических нагрузок на распределительные системы, пересекающие границу сейсмоизоляции;
4. сейсмическая повреждаемость самой СИС.

5.19 Исходными данными для СВАБ являются кривые сейсмической опасности и равновероятностные спектры ответа на свободной поверхности грунта. Применительно к объектам с СИС равновероятностные спектры должны строиться, начиная с частот в два раза ниже основной частоты сооружения с сейсмоизоляцией.

5.20 При выполнении СВАБ для объекта с СИС I-й категории сейсмостойкости по НП-031-01 должно быть подтверждено, что условная вероятность его отказа не превышает 1% при интенсивности воздействия до МРЗ включительно. Условная вероятность отказа объекта с СИС при ЗЗ не должна превышать 10%. Эти требования являются дополнительными к целевым требованиям СВАБ.

6. Требования к СИС при запроектном землетрясении

6.1 Расчет на ЗЗ выполняется для объектов с СИС I-й категории сейсмостойкости по классификации НП-031-01. В результате расчета должно быть показано, что при ЗЗ СИС продолжает обеспечивать следующие функции:

1. Нести весовую нагрузку верхнего строения;
2. После прохождения землетрясения возвращать верхнее строение в исходное положение или близкое к нему в пределах 10% от максимального сейсмического смещения при ЗЗ.

6.2 Сохранение указанных функций СИС должны проверяться расчетом на ЗЗ при постулированном отказе одного произвольного элемента СИС.

6.3 Допускается применение конструктивных элементов, ограничивающих сейсмические смещения в слое сейсмоизоляции при сейсмических нагрузках выше МРЗ. Работоспособность СИС с применением таких элементов должна проверяться расчетом на ЗЗ.

6.4 Расчет на ЗЗ должен выполняться с учетом реалистических подходов. Должна быть учтена нелинейная работа элементов СИС. В случаях, когда элементы СИС работают за пределами упругости, это должно быть учтено в расчете явным образом.

6.5 ЗЗ должно быть установлено в проекте СИС на основе данных ВАСО, кривых сейсмической опасности для вероятности превышения 10-5 в год. При проверке функциональности СИС в расчетах на ЗЗ не допускается снижение исходного сейсмического воздействия, путем применения понижающих коэффициентов, таких как K_e (приложение 4, НП-031-01).

7. Требования к проектированию СИС

7.1 В проекте СИС должны быть определены:

1. перечень нагрузок, внешних и внутренних воздействий, учитываемых при проектировании СИС. Для объектов I-й категории сейсмостойкости по классификации НП-031-01 должно быть определено ЗЗ (см. пп. 5.1, 6.5, 7.11);
2. пределы допускаемых смещений в слое сейсмоизоляции при заданных уровнях сейсмического воздействия см.п. 6.1 (3);
3. пределы допускаемых остаточных смещений в слое сейсмоизоляции при заданных уровнях сейсмического воздействия, время возврата см.п. 6.1 (2);
4. пределы допускаемых величин крена верхнего строения при заданных уровнях сейсмического воздействия (см.п. 5.12);
5. типы и количество элементов сис, для которых постулируется отказ при проведении поверочных расчетов (см.п. 5.20);
6. пределы допускаемых отклонений характеристик элементов СИС относительно номинальных значений (см. п. 5.6, 9.6);
7. срок службы СИС (см.п. 6.15);
8. учитываемые афтершоки (см.п. 8.6);
9. требования к огнестойкости несущих элементов СИС (см.п. 7.14);
10. основные и дополнительные критерии применимости для конкретного типа элементов СИС (см.п. 8.3);
11. диапазон температур, в котором будут эксплуатироваться элементы СИС (см.п. 8.5).

7.2 Проектирование СИС включает следующие этапы:

1. выбор типа СИС;
2. проект размещения элементов СИС;
3. анализ СИС при НЭ, ННЭ и при внешних воздействиях природного и техногенного характера.

7.3 Выбор типа СИС зависит от характеристик сейсмического воздействия, условий площадки строительства и веса верхнего строения, с учетом возможности выполнения функций раздела 5.1 настоящего СТО.

7.4 Выбор типа СИС должен учитывать опыт обеспечения сейсмостойкости АС страны разработчика проекта и страны строительства АС, при его наличии, и передовой мировой опыт применения СИС, см. Приложение А.

7.5 Для обоснования выбора типа СИС рекомендуется проведение предварительного анализа с использованием упрощённых моделей на сейсмическое

воздействие, принятое в проекте. Пример предварительного расчета приведен в Приложении С.

7.6 Проект размещения элементов СИС должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Вертикальная статическая нагрузка должна быть распределена между несущими элементами СИС максимально равномерно.

Примечание: Равномерное распределение нагрузки между несущими элементами СИС снижает изгибные напряжения в конструкциях верхнего и нижнего строений и обеспечивает равномерность характеристик самих изоляторов, которые зависят от вертикальной нагрузки.

2. Расчет неравномерности нагружения изоляторов должен учитывать податливость изоляторов, весовые деформации верхнего и нижнего строений, а также возможность неравномерной просадки грунта.

7.7 Для снижения эффекта закручивания верхнего строения необходимо, по возможности, уменьшать эксцентриситет в горизонтальном направлении (в плане) между центром горизонтальной жесткости СИС и центром масс верхнего строения. Остаточный эксцентриситет должен быть учтен в расчетной модели объекта с СИС.

7.8 Элементы СИС, по возможности, следует располагать непосредственно под жесткими элементами верхнего строения: несущими стенами или колоннами.

7.9 Размещение элементов СИС должно гарантировать доступ к ним, обеспечивать возможность их технического обслуживания и замены в случае необходимости.

7.10 Анализ объекта с СИС при нагрузках НЭ и при сейсмической нагрузке должен учитывать все возможные вариации характеристик СИС, возникающие вследствие:

- разброса характеристик при производстве элементов СИС;
- изменение характеристик со временем (старение);
- изменение характеристик в зависимости от условий окружающей среды (температура);
- изменение характеристик при разных сочетаниях нагрузок (связность вертикальной и горизонтальной реакций).

7.11 Кроме весовой и сейсмической нагрузок при проектировании СИС следует учитывать и другие нагрузки, и воздействия, задаваемые проектом, АС, например:

- ветровая нагрузка (как правило, в динамической постановке);
- затопление;
- пожар;
- удар молнии (заземление должно пересекать границу сейсмоизоляции);
- падение летательного аппарата;
- воздушная ударная волна;
- оползень;
- смерч.

7.12 Должна быть обеспечена защита СИС от пожара.

7.13 В случае, когда проектом предусмотрено воздействие от падения летательного аппарата, должно быть конструктивно исключено проливание топлива в слой сейсмоизоляции.

7.14 Требования к огнестойкости и классу пожарной опасности несущих элементов конструкции СИС определяются проектом АС по аналогии с требованиями к несущим элементам здания.

7.15 В случае если несущие элементы СИС не отвечают предъявленным требованиям по огнестойкости, должны быть предусмотрены конструктивные меры по повышению их огнестойкости до требуемого уровня.

7.16 Предпочтение следует отдавать СИС, в элементах которой не используются горючие материалы.

7.17 Частью проекта СИС должна быть гидроизолирующая система, защищающая СИС от затопления ливневыми водами, наводнением и т.п. Эта же система может защищать от проливания самолётного топлива в слой сейсмоизоляции.

7.18 Частью проекта СИС должна быть система мониторинга СИС, позволяющая контролировать состояние СИС в течение всего жизненного цикла.

8. Проектные критерии применимости элементов СИС

8.1 Все элементы СИС делятся на три группы:

- несущие элементы – устройства, которые воспринимают весовую нагрузку верхнего строения, обеспечивают фильтрацию сейсмического воздействия и возврат объекта в исходное положение;
- демпфирующие элементы – устройства, которые не несут статической нагрузки. Их назначение – увеличивать демпфирование в СИС и снижать сейсмические перемещения;
- ограничители перемещений – устройства, которые могут использоваться, в случае необходимости, для ограничения перемещений СИС при ЗЗ.

8.2 Проектные критерии для элементов СИС должны быть основаны на функциях этой системы, которые перечислены в разделе 5.1 данного СТО. Критерии должны учитывать возможные формы отказа и вариации характеристик элементов СИС.

8.3 Проектные критерии включают:

- максимально допустимые смещения;
- максимально допустимые комбинации горизонтальной и вертикальной нагрузок и горизонтальных и вертикальных смещений;
- максимально допустимую разгрузку (растяжение) элемента СИС, отрыв от верхнего или нижнего строений (если допускается) и последующую ударную нагрузку, если возникает такой эффект;
- температурные пределы эксплуатации СИС;
- дополнительные критерии, которые могут быть установлены производителем и/или проектом для каждого типа устройств.
- Проектные критерии зависят от типа элементов СИС. Их значения устанавливаются для каждого типа СИС и должны быть подтверждены экспериментально на натуральных образцах (прототипах).

8.4 Элементы СИС не должны менять своих характеристик более чем на 20% в течение проектного срока эксплуатации.

8.5 Изоляторы и демпферы не должны менять свои свойства более чем на 20% в установленном проектом диапазоне температур, относительно номинальных параметров, определенных при испытаниях натуральных образцов (прототипов).

8.6 В проекте могут быть определены большие чем 20% отклонения от номинальных параметров для элементов СИС. Такое решение должно быть подтверждено поверочными расчетами.

8.7 Допускаются повреждения элементов СИС при воздействии ЗЗ при сохранении функций СИС, перечисленных в п.6.1. Как правило, должны требоваться сохранение несущей способности по отношению к весовой нагрузке от верхнего

строения и возврат верхнего строения в исходное положение или близкое к нему в пределах 10% от максимального сейсмического смещения при ЗЗ.

8.8 При сейсмических воздействиях ПЗ и МРЗ повреждения элементов СИС не допускаются.

9. Требования к моделированию и поверочным расчетам объектов с СИС

9.1 Модель здания или сооружения с СИС должна быть трехмерной, позволяющей учесть его пространственную работу, возможные крены и закручивания.

9.2 Поверочные расчеты должны проводиться во временной области, с приложением сейсмического воздействия к модели объекта с СИС одновременно в трёх направлениях. Предварительные расчеты допускается проводить по ЛСМ с линеаризацией характеристик СИС.

9.3 В расчётах должно использоваться не менее трёх наборов акселерограмм. Если для анализа берется от трёх до шести реализаций движения, то за результирующее значение реакции принимается максимальное значение реакции (из всех расчетов). Если используются семь и более наборов акселерограмм, результирующее значение реакции допускается рассчитывать по формуле «медиана плюс одно стандартное отклонение».

9.4 Метод модального интегрирования уравнений движения допускается применять только для систем с относительно низким уровнем модального демпфирования (до 20% включительно). В остальных случаях следует применять либо метод прямого интегрирования уравнений движения, либо модифицированный метод модального интегрирования, использующий заполненную матрицу демпфирования. Допускается также проводить расчеты методом модального интегрирования с консервативным понижением модального демпфирования до 20%.

9.5 Модель сооружения должна позволять определение реакции и деформационных параметров для каждого индивидуального элемента СИС или ограниченного набора (блока) элементов СИС, работающих в сопоставимых условиях.

9.6 Модель элемента СИС должна отражать его нелинейное поведение и зависимости его реакций от деформации в различных направлениях, например, зависимость вертикальной реакции от горизонтальной деформации и восстанавливающей силы от деформации. Элементы СИС, имеющие слабую нелинейность, могут быть представлены линейными моделями с указанной вариацией параметров. При этом вариация параметров линейной модели должна охватывать весь диапазон возможных реакций такого элемента.

9.7 Характеристики элемента СИС, задаваемые в расчетной модели, должны базироваться на экспериментальных данных, полученных при испытаниях прототипов и отвечать условиям расчета объекта с СИС. Характеристики элементов СИС считаются отвечающими условиям расчета если деформации элементов при расчете на сейсмическое воздействие не превышают деформаций при испытаниях прототипа, а энергия, поглощенная элементом при расчете на сейсмическое воздействие не превышает величины энергии, рассеянной прототипом элемента СИС при его испытаниях (см. п.11.3).

9.8 Возможные вариации характеристик элементов СИС вследствие старения, температуры, разброса внутрипроизводственного допуска, и т.п. должны быть учтены в

расчете. Как минимум, для каждого из параметров нужно исследовать верхнюю, нижнюю и наилучшую оценки.

9.9 Для симметричных сооружений должен проводиться расчёт с искусственно заданным эксцентриситетом центра масс относительно центра жесткости СИС. Эксцентриситет должен составлять 5% от наибольшего размера здания в плане.

9.10 Модель должна учитывать эффекты взаимодействия здания с грунтом. В расчетах должны быть учтены возможные вариации свойств грунтового основания. Вариация свойств грунтового основания принимается на основе данных геологических изысканий. При отсутствии фактических данных принимается вариация свойств с коэффициентом 2 от «среднего» грунта. Для очень жесткого грунтового основания ($V_s > 2400$ м/с) допускается не учитывать влияние взаимодействия здания с грунтом при наличии расчетного обоснования.

9.11 В случае применения Рэлеевского демпфирования для анализа зданий и сооружений с СИС следует обнулять коэффициент пропорциональности при матрице масс.

9.12 При применении Рэлеевского демпфирования оно должно быть ограничено величиной 10% в диапазоне частот, соответствующих динамичной части спектра исходного сейсмического воздействия.

10. Проектирование распределительных систем, пересекающих границу сейсмоизоляции

10.1 Распределительными системами, которые могут пересекать границу сейсмоизоляции, являются: трубопроводы, кабельные трассы, воздухопроводы, стальные трубы с электрическими кабелями. Компоновка распределительных систем на границе должна быть выполнена таким образом, чтобы исключить повреждения при проектных смещениях СИС при сейсмическом воздействии. В соответствии с категорией сейсмостойкости распределительных систем должна быть обеспечена их сейсмостойкость при сейсмическом воздействии до МРЗ или ПЗ включительно.

Примечание: Понятие границы сейсмоизоляции поясняется рисунками Приложения В.

10.2 Для распределительных систем, пересекающих границу сейсмоизоляции, необходимых для безопасного останова реактора, должна быть обеспечена сейсмостойкость при воздействии ЗЗ. При обосновании сейсмостойкости на ЗЗ допускается принимать повышенные уровни демпфирования и коэффициенты пластичности в соответствии с методом оценки граничной сейсмостойкости (СТО 95 12060-2019).

10.3 Распределительные системы не должны становиться препятствием (ограничителем) при возможных сейсмических движениях верхнего строения.

11. Требования по испытаниям прототипов элементов СИС

11.1 Испытания прототипов элементов СИС следует проводить с использованием методов, приведенных в стандартах, перечисленных в разделе «Нормативные документы» настоящего СТО. Методы испытаний должны учитывать конструктивные и функциональные особенности элементов СИС.

11.2 Определение характеристик элементов СИС должно выполняться на прототипах (репрезентативных полнофункциональных образцах). Параметры нагружения образцов (перемещения и усилия, скорость нагружения) должны соответствовать ожидаемой сейсмической нагрузке. В результате испытаний должны быть установлены номинальные характеристики для данного типа элемента и допускаемые отклонения от них.

11.3 При испытаниях прототипов элементов СИС должна контролироваться энергия, поглощенная устройством в процессе испытания. Интенсивность и длительность нагружения прототипа при испытаниях должны соответствовать ожидаемым условиям работы при сейсмическом воздействии (см. п.9.7).

11.4 Проверка несущей способности несущих элементов СИС при воздействии ЗЗ должна выполняться для перемещений соответствующих ЗЗ также с использованием прототипов.

11.5 Испытания по определению возможных форм отказа элементов СИС и величин предельных деформаций и нагрузок должны быть проведены на прототипах.

11.6 Прототипы элементов СИС, прошедшие испытания по пп.11.2 – 11.5, не должны поставляться в составе СИС на АС.

12. Требования к производству элементов СИС и контролю качества

10.1 Элементы СИС должны быть изготовлены в соответствии с требованиями нормативных документов, предъявляемыми к изделиям, поставляемым на АС.

10.2 Требования к элементам СИС, в том числе к разбросу эксплуатационных характеристик, соответствующих проектным критериям (п. 8.3), должны быть изложены в соответствующих технических заданиях или технических требованиях (для импортной продукции) и подтверждены в технических условиях на продукцию.

10.3 Предприятия разработчики и изготовители элементов СИС должны иметь национальные разрешительные документы на соответствующие виды деятельности и наличие технической возможности изготавливать оборудование в соответствии с требованиями п.10.2.

10.4 Программа обеспечения качества (ПОК) должна содержать перечень испытаний для подтверждения заданных характеристик элементов СИС. Образцовыми характеристиками для конечных изделий являются характеристики, полученные при испытаниях прототипов.

10.5 ПОК должна содержать требования по контролю характеристик всех комплектующих и исходных материалов, используемых при изготовлении элементов СИС. Для этого в ПОК должны быть предусмотрены необходимые инспекции.

13. Требования к монтажу

13.1 Должна быть разработана технология и порядок производства работ при монтаже СИС на возводимом здании/сооружении.

13.2 Процедура контроля качества монтажа элементов СИС должна уделять особое внимание следующему:

- контроль геометрии пьедесталов под элементы СИС;
- контроль армирования пьедесталов и правильного сопряжения арматуры с закладными деталями;
- контроль качества установки закладных деталей, отсутствие пустот под ними, горизонтальность;
- контроль качества анкерных болтов и процедуры анкеровки.

13.3 По окончании монтажа СИС должна быть смонтирована и введена в эксплуатацию система мониторинга СИС.

14. Контроль характеристик СИС в процессе возведения верхнего строения

14.1 СИС вводится во временную эксплуатацию, начиная с окончания монтажа на объекте и до набора полной проектной весовой нагрузки. В этот период необходимо проводить мониторинг состояния элементов СИС и смещений при росте весовой нагрузки.

14.2 Для стальных деталей должны быть предусмотрены антикоррозионная защита и контроль коррозии.

14.3 Для гидравлических устройств должно контролироваться состояние уплотнений и уровень рабочей жидкости.

14.4 Для контроля поведения СИС при росте весовой нагрузки в процессе строительства используется система мониторинга перемещений в слое сейсмоизоляции. Программой мониторинга должны быть определены контрольные точки, связанные с завершением определённых этапов строительства, монтажа тяжелого оборудования и т.п., для которых должны быть приведены контрольные величины деформаций в слое сейсмоизоляции.

14.5 СИС вводится в постоянную эксплуатацию после набора полной проектной весовой нагрузки. Процедура ввода в постоянную эксплуатацию должна предусматривать:

- осмотр всех элементов СИС;
- анализ результатов мониторинга СИС в процессе строительства;
- рассмотрение результатов экспертизы проектной документации;
- выпуск заключения о вводе в постоянную эксплуатацию.

15. Контроль СИС в процессе эксплуатации

15.1 В процессе эксплуатации должна функционировать система мониторинга перемещений в слое сейсмоизоляции.

15.2 В процессе эксплуатации АС необходим контроль значений механических характеристик элементов СИС, подверженных старению. Характеристики СИС должны оставаться в пределах значений, принятых в проекте.

15.3 Контроль за процессами старения должен быть установлен, прежде всего, для элементов СИС, содержащих резину, эластомеры, неметаллические детали, подверженные старению.

15.4 Для стальных деталей должны контролироваться процессы коррозии и ползучести.

15.5 Для гидравлических устройств должно контролироваться состояние уплотнений и уровень рабочей жидкости.

15.6 Дополнительно к датчикам перемещений система мониторинга должна быть оборудована датчиками ускорений на нижнем и верхнем строениях. Эти датчики служат для контроля поведения СИС при внешних динамических воздействиях.

15.7 После прохождения землетрясения интенсивностью более 0,7 от ПЗ необходимо провести специальный аудит СИС в объеме выявления следующих возможных отклонений:

- повреждений нижнего строения;
- повреждений верхнего строения;
- повреждений элементов СИС;
- остаточных смещений верхнего строения;
- неравномерных осадок нижнего строения.

15.8 Обнаруженные отклонения по п. 15.7 должны быть устранены. Повреждённые элементы СИС подлежат замене.

15.9 Элементы СИС, подверженные старению, должны выборочно проверяться по программе периодических испытаний для установления их фактических характеристик один раз за 10 лет эксплуатации. Характеристики должны оставаться в пределах значений, принятых в проекте.

16. Независимая экспертиза

Для проектов зданий и сооружений с СИС должна выполняться программа независимой экспертизы. Экспертиза выполняется для проекта СИС, для программы испытаний элементов СИС и для проекта объекта с СИС. Экспертиза должна проводиться, как минимум, по следующим направлениям:

1. Проект элементов СИС.
2. Проект размещения элементов СИС.
3. Характеристики грунтового основания и их вариация при проведении поверочных расчетов.
4. Исходное сейсмическое воздействие и его достоверность, особенно в низкочастотной области.
5. Расчетные модели элементов СИС.
6. Проектные критерии работоспособности элементов СИС.
7. Анализ взаимодействия здания и грунта.
8. Результаты расчета поэтажных спектров ответа, оценка эффективности СИС.
9. Расчет смещений и усилий, возникающих в элементах СИС.
10. Расчет распределительных систем, пересекающих границу сейсмоизоляции.
11. Программа испытаний прототипов элементов СИС.
12. Программа контроля качества производства, включая тестирование элементов СИС.
13. Поверочные расчеты для иных, чем землетрясение, заданных в проекте особых внешних воздействий.
14. Запроектные события и воздействия.

17. Порядок внесения изменений

Изменения к СТО проводятся по результатам внутреннего или внешнего аудита, а также по результатам его применения или при изменении нормативных документов, на основании которых он был разработан.

Предложение о необходимости разработки изменений к стандарту дает ответственный исполнитель (разработчик), либо пользователи.

Разработка изменений поручается тем же исполнителям, которые разработали первоначальную редакцию стандарта или другим исполнителям.

Изменение к стандарту разрабатывается, если изменений не много, и они не носят принципиального характера, не изменяют назначение стандарта или порядок действий, определенный в стандарте.

Новая редакция стандарта издается, если изменений много, и они затрагивают принципиальные требования, изложенные в стандарте.

18. Нормативные документы

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие документы:

[1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-031-01 «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций».

[2] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-068-05 «Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования».

[3] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-064-17 «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии».

[4] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».

[5] Специальное руководство по безопасности МАГАТЭ (Specific Safety Guide) No. SSG 67 «Сейсмическое проектирование для ядерных установок»

[6]. Серия норм безопасности МАГАТЭ No. NS-G-2.13 «Оценка сейсмической безопасности существующих ядерных установок»

[7] СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть I. «Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС)».

[8] РБ-123-17 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Основные рекомендации к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для блока атомной станции при исходных событиях, обусловленных сейсмическими воздействиями".

Приложение А (справочное). Типы и свойства сейсмоизолирующих систем и их элементов

В данном приложении рассмотрены различные СИС и их элементы, применяемые в мировой практике, в частности, для АС.

Все элементы СИС делятся на три группы:

- несущие элементы – устройства, которые воспринимают весовую нагрузку верхнего строения, обеспечивают фильтрацию сейсмического воздействия и возврат объекта в исходное положение;
- демпфирующие элементы – устройства, которые не несут статической нагрузки. Их назначение – увеличивать демпфирование в СИС и снижать относительные сейсмические перемещения верхнего и нижнего строений;
- ограничители перемещений – устройства, которые могут использоваться, в случае необходимости, для ограничения перемещений СИС при ЗЗ.

Несущие элементы СИС подразделяются на следующие основные типы:

1. ламинированные эластомерные изоляторы (LDRB, HDRB). Эскиз этих изоляторов показан на Рисунке А1;
2. Опоры скольжения (FB - Рисунок А3, FPB - Рисунок А4);
3. Цилиндрические витые пружины (CHS - Рисунок А5).

Ламинированные эластомерные изоляторы состоят из перемежающихся слоёв эластомера и металлических пластин. В качестве эластомера часто используют натуральный каучук, имеющий малую жесткость и большую способность к деформации. Эластомер прочно соединяется с металлическими пластинами.

Существует специальный тип эластомерных опор со свинцовым сердечником (LRB Рисунок А2).

Горизонтальная жесткость эластомерных опор определяется модулем сдвига эластомера, суммарной толщиной его слоёв и площадью поперечного сечения. Металлические пластины не участвуют в горизонтальной податливости такой опоры, они предотвращают выпучивание эластомера при вертикальной нагрузке. Вертикальная жесткость эластомерных опор на порядки больше горизонтальной.

Демпфирующие свойства опор типов LDRB и HDRB обеспечиваются свойствами эластомера при деформациях сдвига.

Свинцовый сердечник в изоляторах типа LRB увеличивает демпфирование в опоре за счет пластической деформации свинца. Поглощенная сердечником энергия колебаний приводит к его нагреву и существенному изменению свойств опоры.

Идеализированные диаграммы «сила-деформация» для эластомерных опор приведены на Рисунке А1 и Рисунке А2.

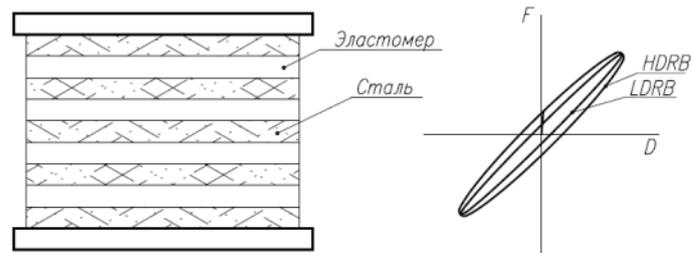


Рисунок А1 - Эскиз ламинированного эластомерного изолятора типов LDRB, HDRB и их идеализированные характеристики «сила-деформация» при динамическом нагружении

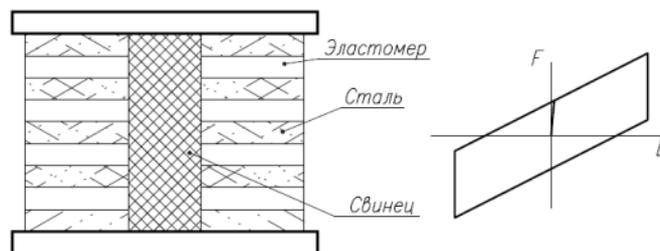


Рисунок А2 - Эскиз ламинированной эластомерной опоры со свинцовым сердечником LRB и ее идеализированная характеристика «сила-деформация» при динамическом нагружении

Эффект изоляции в опорах скольжения достигается за счет взаимного скольжения частей опоры. Поверхности скольжения могут быть плоскими (FB) либо иметь сферическую форму (FPB).

Сферическая форма поверхностей в опорах типа FPB приводит к появлению маятникового эффекта и возвращающей силы.

Демпфирование обеспечивается силами трения. Горизонтальная сила трения существенно зависит от вертикальной реакции такой опоры, что необходимо учитывать в расчетах.

Опоры скольжения не воспринимают растягивающей (вертикальной) нагрузки. В случае, если сейсмическая реакция превышает весовую, происходит отрыв опоры и потеря контакта между поверхностями скольжения.

Эффект отрыва поверхностей скольжения с последующим ударом может сильно увеличить вертикальную сейсмическую нагрузку на защищаемые объекты.

Коэффициент трения опоры скольжения в основном зависит от применяемых материалов, температуры, вертикальной нагрузки на опору и скорости трения скользящих поверхностей. Эти зависимости необходимо учитывать в расчетах.

Одним из существенных недостатков плоских опор скольжения является отсутствие возвращающей силы. Из-за этого верхнее строение после прохождения землетрясения останется в некотором смещенном состоянии от первоначального положения. Опоры скольжения со сферическими поверхностями имеют возвращающую силу, но также склонны к остаточным смещениям после сейсмического или иного динамического воздействия, например ветра.

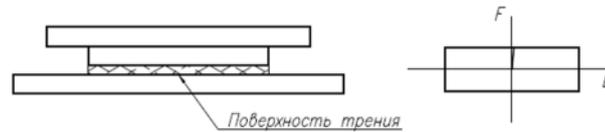


Рисунок А3 - Эскиз опоры скольжения FB и ее идеализированная характеристика «сила-деформация» при динамическом нагружении

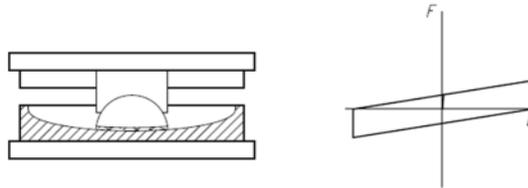


Рисунок А4 - Эскиз маятниковой опоры скольжения FPB и ее идеализированная характеристика «сила-деформация» при динамическом нагружении

Элементы СИС с цилиндрические витыми пружинами (блоки пружин) по сравнению с эластомерными опорами и опорами трения обладают, как правило, меньшей податливостью в горизонтальном направлении, но значительно большей податливостью в вертикальном направлении.

Данная особенность предоставляет возможность сейсмически изолировать объект как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Варьирование основными параметрами пружин - высотой, диаметром и диаметром прутка, позволяет получать требуемые соотношения между вертикальной и горизонтальной податливостями пружинной опоры.

Идеализированная диаграмма сила-перемещение для блока цилиндрических пружин приведена на Рисунке А5.

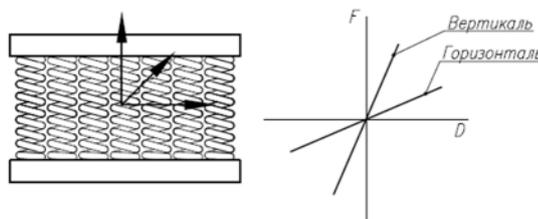


Рисунок А5 - Эскиз опоры с блоком пружин CHS и ее идеализированные характеристики «сила-деформация» при динамическом нагружении в вертикальном и горизонтальных направлениях

Рассеяние энергии в стальных пружинах невелико, поэтому дополнительно к ним в СИС используют установку демпфирующих устройств, образующих СИС BCS (Рисунок А6).

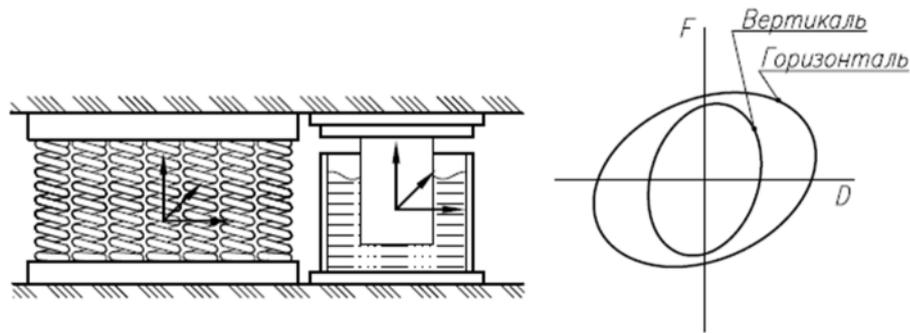


Рисунок А6 - Эскиз опоры с блоком пружин CHS и вязким демпфером VD, образующих пространственную СИС BCS и ее идеализированные характеристики «сила-деформация» при динамическом нагружении в вертикальном и горизонтальных направлениях

Демпфирующие элементы СИС подразделяются на следующие основные типы:

- Линейные (однонаправленные) демпферы (Рисунок А7);
- Вязкие многокомпонентные демпферы (Рисунок А8);
- Пластические демпферы PD (Рисунок А9).

Линейные демпферы, как правило, состоят из корпуса, поршня, внутренней системы перетекания жидкости с клапанами и уплотнений.

Реакция демпфера зависит от скорости нагружения. Как правило, эта зависимость носит нелинейный характер, что необходимо учитывать в расчетах.

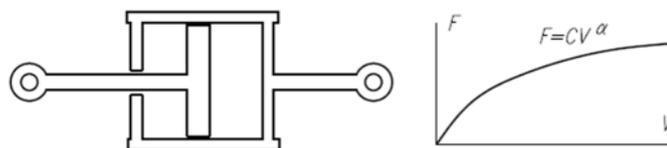


Рисунок А7 - Эскиз линейного (однонаправленного - 1D) демпфера и его идеализированные характеристики «сила-скорость» при динамическом нагружении

Вязкие многокомпонентные демпферы состоят из корпуса, заполненного высоковязкой жидкостью, и поршня, погруженного в эту жидкость.

Вязкие демпферы работают во всех пространственных направлениях. Их отличительной особенностью является работа под атмосферным давлением и отсутствие уплотнений. Идеализированная характеристика вязкого демпфера показана на Рисунке А8.

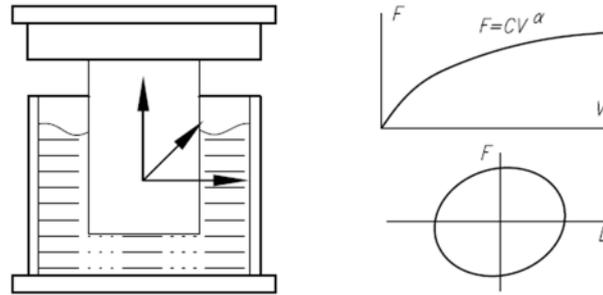


Рисунок А8 - Эскиз вязкого многокомпонентного 3D демпфера и его идеализированные характеристики «сила-деформация» при динамическом нагружении

Пластические демпферы могут выполняться из пластичных материалов: свинца, мягкой стали. Рабочий элемент обычно имеет сложную форму, предполагающую пластический изгиб при деформации в разных направлениях.

Диаграмма «сила-деформация», как правило, является билинейной, ее идеализированная характеристика показана на рисунке А9.

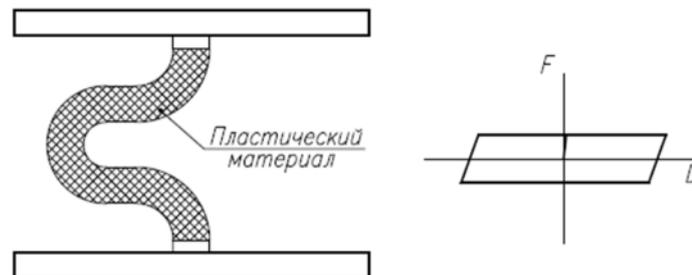


Рисунок А9 - Эскиз пластического демпфера PD и его идеализированная характеристика «сила-деформация» при динамическом нагружении

Ограничители перемещений могут быть выполнены как часть строительной конструкции здания или сооружения либо как отдельное устройство СИС, либо как часть конструкции другого элемента СИС.

Ограничители перемещений (упоры) иногда устанавливаются в СИС, имеющих значительные горизонтальные сейсмические смещения и деградирующие характеристики жесткости.

В каждой СИС могут присутствовать различные типы элементов, однако во всех случаях обязательным является только несущий элемент, и он определяет основные изолирующие свойства СИС. Поэтому в данном разделе под типом СИС подразумевается тип применяемого несущего элемента.

Преимущества и недостатки распространенных типов СИС анализируются по отношению к основным требованиям данного СТО. Рассмотрены следующие, наиболее распространенные, типы СИС:

1. Ламинированные эластомерные изоляторы с низким демпфированием (Low Damped Rubber Bearing – LDRB);
2. Ламинированные эластомерные изоляторы с высоким демпфированием (High Damped Rubber Bearing – HDRB);
3. Ламинированные эластомерные изоляторы со свинцовым сердечником (Lead Rubber Bearing – LRB);
4. Опоры скольжения (Friction Bearing – FB);
5. Скользящие маятниковые опоры (Friction Pendulum Bearing – FPB);
6. Блоки витых цилиндрических пружин с демпферами – (Base Control System – BCS).

Ниже приводится сравнительный анализ преимуществ и недостатков рассмотренных типов СИС. Результаты анализа для наглядности сведены в Таблицу 1.

В соответствии с требованиями СТО, п.5.1.1 (1), СИС должна нести весовую нагрузку верхнего строения.

Все рассматриваемые типы СИС (LDRB, HDRB, LRB, FB, FPB, BCS) отвечают этому требованию.

В соответствии с требованиями СТО, п. 5.1.1 (2), СИС должна снижать сейсмические нагрузки, действующие на верхнее строение.

Типы СИС LDRB, HDRB, LRB снижают сейсмические нагрузки в горизонтальном направлении. В вертикальном направлении возможно усиление сейсмического ответа в связи с наличием высокой, но конечной жесткости.

Типы СИС FB, FPB обладают очень высокой жесткостью по вертикали и, теоретически, не меняют сейсмическую нагрузку в вертикальном направлении, а практически ее усиливают. Изменение вертикальной нагрузки при сейсмическом воздействии порождает изменение величины силы трения в элементе, что приводит к чередованию состояний остановки и проскальзывания в горизонтальном направлении. Этот род нелинейного поведения может приводить к росту сейсмической нагрузки в горизонтальном направлении. При сейсмической разгрузке таких элементов в системе могут возникать удары и отрыв от поверхности трения, что приводит к увеличению сейсмической нагрузки на верхнее строение.

В элементах FPB существует геометрическая связность между перемещениями в горизонтальном и вертикальном направлениях, что приводит к дополнительному кинематическому воздействию на изолированную систему.

СИС типа BCS снижает сейсмические нагрузки и в горизонтальном, и в вертикальном направлениях. Относительные сейсмические смещения между верхним и нижним строениями регулируются установкой необходимого количества демпферов.

В соответствии с требованием СТО, п. 5.1.1 (3), СИС должна ограничивать относительные сейсмические перемещения в пределах, установленных проектом.

Типы СИС LDRB, BCS нуждаются в демпфирующих устройствах для ограничения относительных сейсмических перемещений.

Типы СИС HDRB, LRB, FB имеют повышенное собственное демпфирование и, как правило, могут использоваться без установки демпферов.

СИС типа FPB может требовать установки демпферов.

В соответствии с требованием СТО, п. 5.1.1 (4), СИС должна после прохождения землетрясения возвращать верхнее строение в исходное положение или близкое к нему.

Типы СИС LDRB, HDRB характеризуются малыми остаточными смещениями.

СИС типа BCS возвращает верхнее строение в исходное положение.

СИС типа LRB характеризуется существенными остаточными смещениями, так как свинцовый сердечник получает большие пластические деформации.

СИС типа FPB характеризуются существенными остаточными смещениями из-за постоянного присутствия трения и малой гравитационной возвращающей силы.

Плоские опоры трения FB склонны останавливаться в положениях, близких к максимальным сейсмическим смещениям.

В соответствии с требованием СТО, п.5.1.1 (5), СИС должна ограничивать величины крена верхнего строения в соответствии с требованиями проекта и действующими Нормами;

Типы СИС LDRB, HDRB, LRB, FB, FPB гарантируют минимальный крен благодаря их высокой вертикальной жесткости.

СИС типа BCS имеет относительно низкую вертикальную жесткость. В связи с этим угол крена при сейсмическом воздействии необходимо ограничивать с помощью демпферов.

Примечание: Преимуществом BCS является возможность компенсации статического крена здания, возникающего вследствие неравномерной просадки грунта как в нормальных условиях эксплуатации, так и после прохождения сейсмического воздействия.

В соответствии с требованиями пп.5.1.9 – 5.1.11 СТО в проекте СИС должна быть предусмотрена возможность замены элементов СИС без повреждения окружающих конструкций. Элемент не должен быть поврежден в процессе замены, чтобы его можно было исследовать и подвергнуть испытаниям. Извлечение одного элемента СИС не должно снижать работоспособность СИС, изменять НДС строительной конструкции и снижать уровень безопасности АС в пределах и (или) условиях безопасной эксплуатации.

Типы СИС LDRB, HDRB, LRB, FB, FPB имеют высокую вертикальную жесткость несущих элементов. Замена элемента представляет большие трудности. Известные технические решения предполагают частичное разрушение железобетонных постаментов с последующим их восстановлением.

СИС типа BCS имеет относительно малую вертикальную жесткость. Это позволяет сжать блок пружин с помощью гидродомкратов, зафиксировать его в сжатом положении и достаточно просто извлечь с места установки. Технология регулирования

и замены отработана и широко применяется для виброизолированных фундаментов турбоагрегатов.

В соответствии с требованием п.5.7 СТО элементы СИС должны быть пассивными, а именно, не использовать системы прямой и обратной связи, электронные компоненты и не требовать подключения к внешним и внутренним источникам питания.

Все рассматриваемые типы СИС (LDRB, HDRB, LRB, FB, FPB, BCS) отвечают этому требованию.

В соответствии с требованием п.8.6 СТО вертикальная статическая нагрузка должна быть распределена между несущими элементами СИС максимально равномерно с обеспечением контроля нагрузки каждого несущего изолирующего элемента.

Для типов СИС LDRB, HDRB, LRB, FB, FPB контроль нагрузки затруднён в связи с высокой вертикальной жесткостью элементов, что может приводить к неравномерной загрузке элементов.

Для СИС типа BCS равномерность нагрузки легко обеспечивается в связи с относительно низкой вертикальной жесткостью элементов. Контроль нагрузки осуществляется измерением высоты пружин. Нагрузку можно выравнять и регулировать с помощью стальных прокладок.

В соответствии с требованиями пп.8.14 – 8.16 СТО должна быть обеспечена защита СИС от пожара. В случае, если элементы СИС не отвечают предъявленным требованиям по огнестойкости, должны быть предусмотрены дополнительные меры по пожарной защите СИС. Предпочтение следует отдавать СИС, в элементах которой не используются горючие материалы.

Для СИС типов LDRB, HDRB обеспечение защиты от пожара представляет трудности, так как резина и эластомеры, как правило, горючи.

Для СИС типа LRB обеспечение защиты от пожара представляет дополнительные трудности, так как кроме резины или другого эластомера в данном типе изолятора присутствует свинцовый сердечник, имеющий низкую температуру плавления.

Для СИС типов FB, FPB, BCS защита от пожара обеспечивается в значительной степени, так как элементы этих СИС изготавливаются из стали и негорючих материалов, которые имеют относительно высокую огнестойкость.

В соответствии с требованием п.9.4 СТО элементы СИС не должны менять своих характеристик более чем на 20% в течение проектного срока эксплуатации.

В типах СИС LDRB, HDRB, LRB используются резина и эластомеры, которые подвержены поверхностному окислению, старению и ужесточению. Выполнение требования затруднено, зависит от фактических условий эксплуатации и примененных материалов.

Элементы СИС типов FB, FPB, BCS отвечают этому требованию, так как изготавливаются из стали и материалов, не подверженных старению. Для них должна быть предусмотрена защита от коррозии.

Таблица 1 - Сравнительный анализ типов СИС

Требование СТО	LDRB	HDRB	LRB	FB	FPB	BCS
Нести весовую нагрузку верхнего строения	+	+	+	+	+	+
Снижать сейсмические нагрузки, действующие на верхнее строение.	±	±	±	±	±	+
Ограничивать сейсмические перемещения в пределах, установленных проектом	+	+	+	+	+	+
После прохождения землетрясения возвращать верхнее строение в исходное положение или близкое к нему	+	+	±	-	±	+
Ограничивать величины крена верхнего строения в соответствии с требованиями проекта и действующими Нормами	+	+	+	+	+	±
Конструкция СИС предусматривает возможность замены и регулировки элементов	±	±	±	±	±	+
Элементы СИС должны быть пассивными	+	+	+	+	+	+
Вертикальная статическая нагрузка распределяется между несущими элементами СИС максимально равномерно. Обеспечен контроль нагрузки каждого несущего элемента	±	±	±	±	±	+
Должна быть обеспечена защита СИС от пожара	±	±	±	+	+	+
Изоляторы не должны менять своих характеристик более чем на 20% в течение проектного срока эксплуатации	±	±	±	+	+	+

Условные обозначения:

«+» - требование выполнимо;

«-» - требование не выполнимо;

«±» - требование выполнимо не всегда или выполнение требования представляет технические трудности.

Приложение В (справочное). Принципиальные схемы СИС

На рисунке В1 показана принципиальная схема СИС, для случая, когда слой сейсмоизоляции располагается в нижней части здания. В случае заглубления ниже уровня грунта нижнее строение состоит из нижней фундаментной плиты и стен подвала.

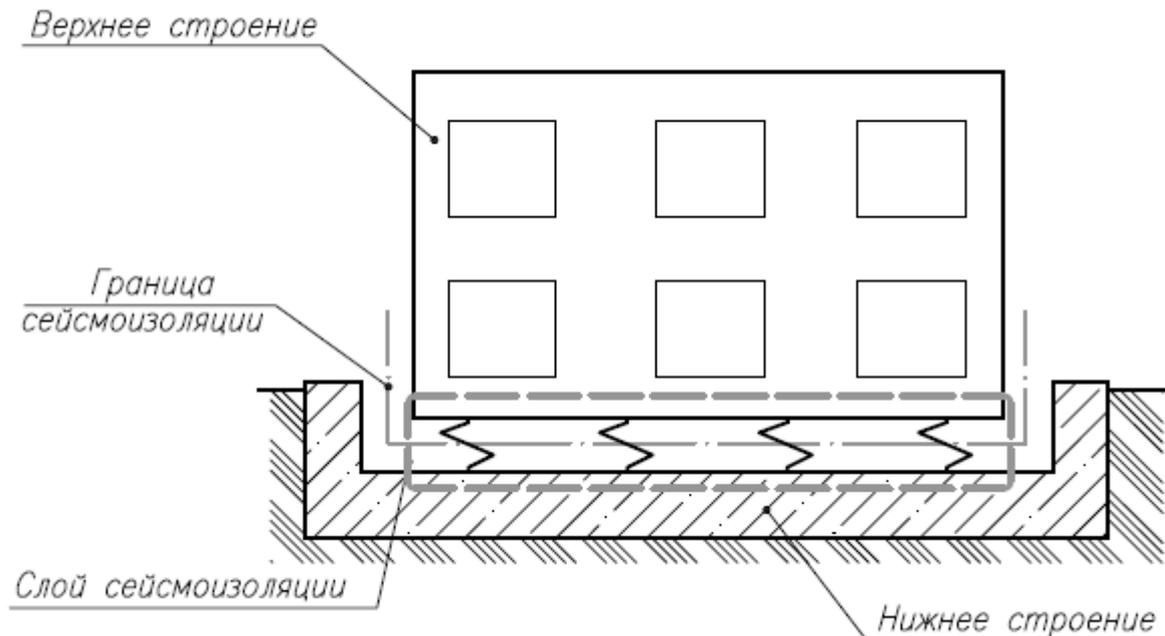


Рисунок В10 - Слой сейсмоизоляции расположен в нижней части здания

На рисунке П2.2 показана принципиальная схема СИС, для случая, когда слой сейсмоизоляции располагается на промежуточной высотной отметке здания. Такая схема часто применяется для повышения сейсмостойкости существующих зданий.

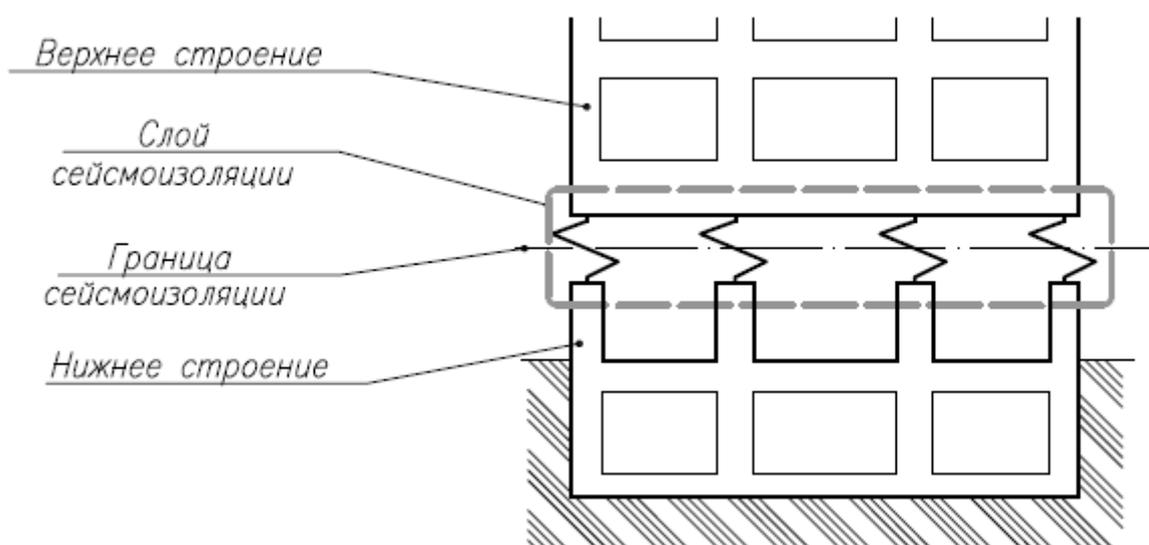


Рисунок В11 - Слой сейсмоизоляции расположен на промежуточной высотной отметке

На рисунке В3 показана принципиальная схема СИС, для случая, когда слой сейсмоизоляции располагается на разных высотных отметках здания. Такая схема применяется для сооружений сложной конфигурации.

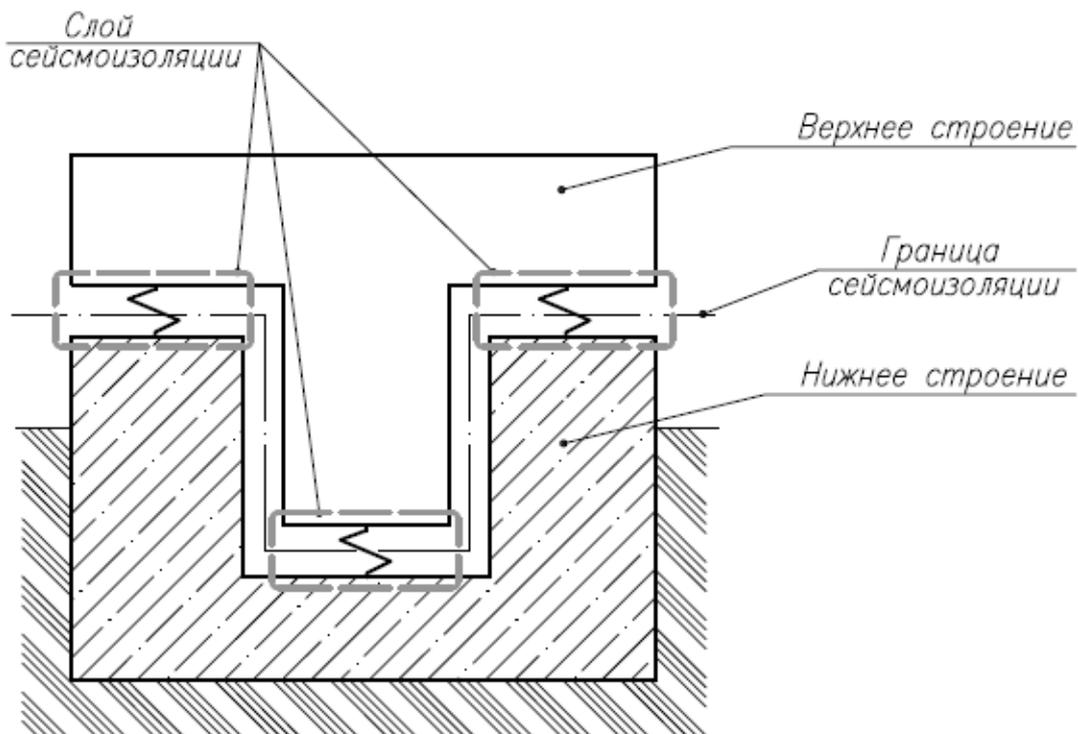


Рисунок В12 - Слой сейсмоизоляции расположен на разных высотных отметках

На рисунке В4 показана принципиальная схема СИС, для случая сейсмической изоляции помещения внутри здания. Такая схема может применяться для защиты персонала АС и оборудования критически важных систем контроля и управления.

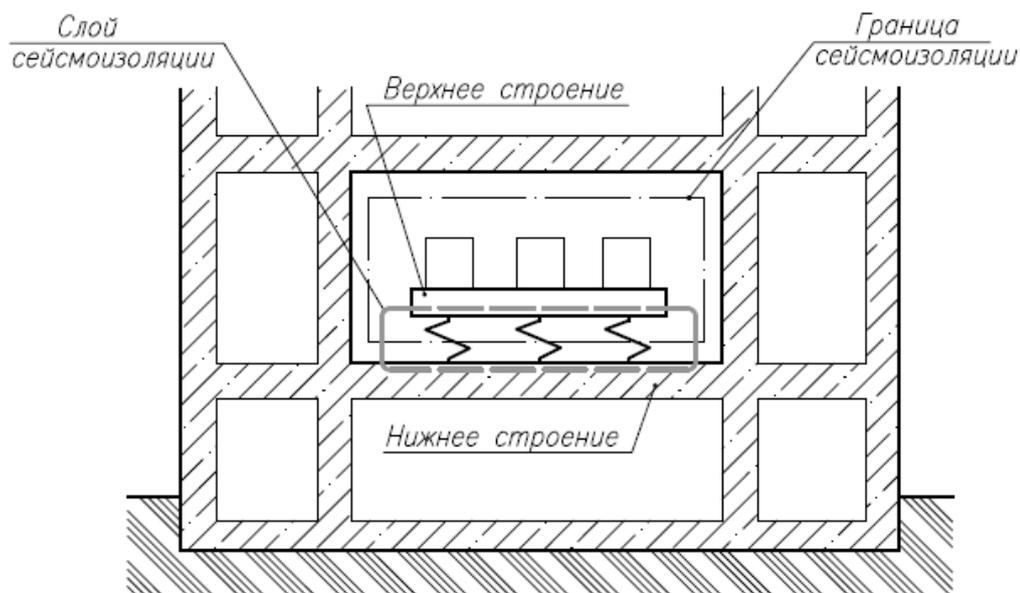


Рисунок В13 - Слой сейсмоизоляции расположен внутри здания

Приложение С (справочное). Методы упрощенной оценки эффективности и параметров движения СИС на ранних этапах проектирования

Потребность в оценке эффективности (снижение ускорений на этажах здания) и параметров движения (относительных смещений в слое сейсмоизоляции) возникает уже на самых ранних стадиях проектирования. При этом возможны несколько уровней подробности моделей, отличающихся по трудозатратам и достоверности результатов.

На самом низком уровне оценка производится по спектрам ответа.

Более высокий уровень предполагает создание двумерной модели сооружения и расчет во временной области с использованием акселерограмм.

Следующий уровень заключается в создании упрощенной трёхмерной модели с жесткими фундаментными плитами, грунтовыми пружинами и балочной моделью здания.

Пример 1:

Оценка параметров движения СИС с использованием одномассовой модели и спектров ответа.

В качестве примера рассмотрено здание с СИС на основе витых цилиндрических пружин и вязких демпферов.

Масса здания $M = 200 \cdot 10^6$ кг.

Несущие элементы СИС, пружинные блоки, имеют номинальную грузоподъемность 4440 кН. Таким образом, СИС должна содержать $200 \cdot 10^6 \cdot 9,81 / 4,44 \cdot 10^6 = 442$ пружинных блока.

Каждый из пружинных блоков имеет вертикальную жесткость $K_v = 1.11 \cdot 10^8$ Н/м и горизонтальную жесткость $K_h = 1.37 \cdot 10^7$ Н/м. Номинальная вертикальная частота сейсмоизоляции составляет:

$$f_v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n \cdot K_v}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{442 \cdot 1.11e8}{2 \cdot e8}} = 2.493 \text{ Гц}$$

Номинальная горизонтальная частота сейсмоизоляции составляет:

$$f_h = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n \cdot K_h}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{442 \cdot 1.37e7}{2 \cdot e8}} = 0.876 \text{ Гц}$$

На рисунках С1 и С2 показаны спектры ответа на поверхности грунта, рассчитанные для уровней демпфирования 5%, 10% и 20%. Зона А показывает предположительный сейсмический отклик здания без СИС. Точка В показывает оценку реакции здания на номинальных частотах сейсмоизоляции при демпфировании 20%.

Видно, что для данных спектров ответа сейсмоизоляция может понизить ответные ускорения в здании.

Также по этим спектрам можно оценить и сейсмические смещения в слое сейсмоизоляции:

$$dh \approx \frac{ah}{(2 \cdot \pi \cdot fh)^2} = \frac{4.4}{(2 \cdot \pi \cdot 0.876)^2} = 0.145 \text{ m} = 145 \text{ mm}$$

$$dv \approx \frac{av}{(2 \cdot \pi \cdot fv)^2} = \frac{4.5}{(2 \cdot \pi \cdot 2.496)^2} = 0.018 \text{ m} = 18 \text{ mm}$$

Однако следует понимать, что оценка вертикальных сейсмических смещений не учитывает деформации, возникающие при раскачивании здания. Эти деформации могут быть значительно выше, чем вертикальные деформации, возникающие от вертикального сейсмического воздействия.

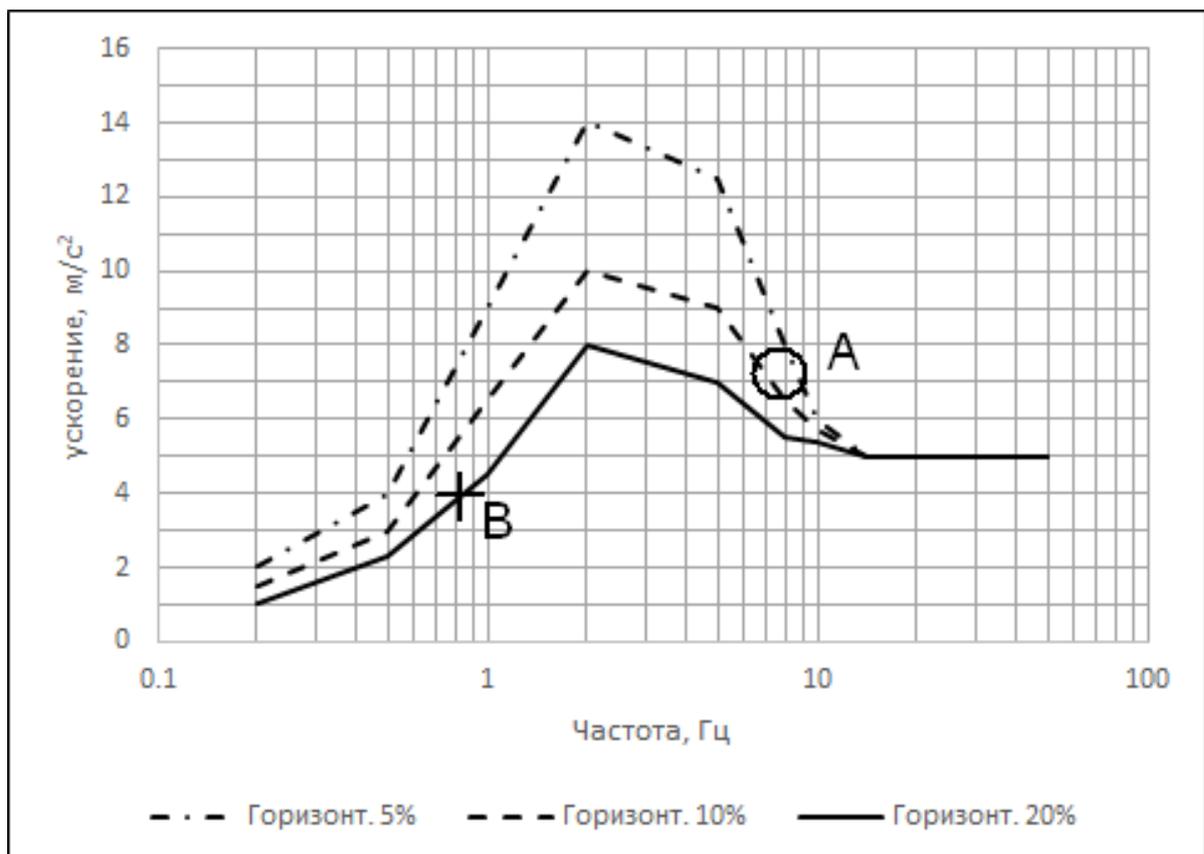


Рисунок С1- Спектры ответа на грунте в горизонтальном направлении

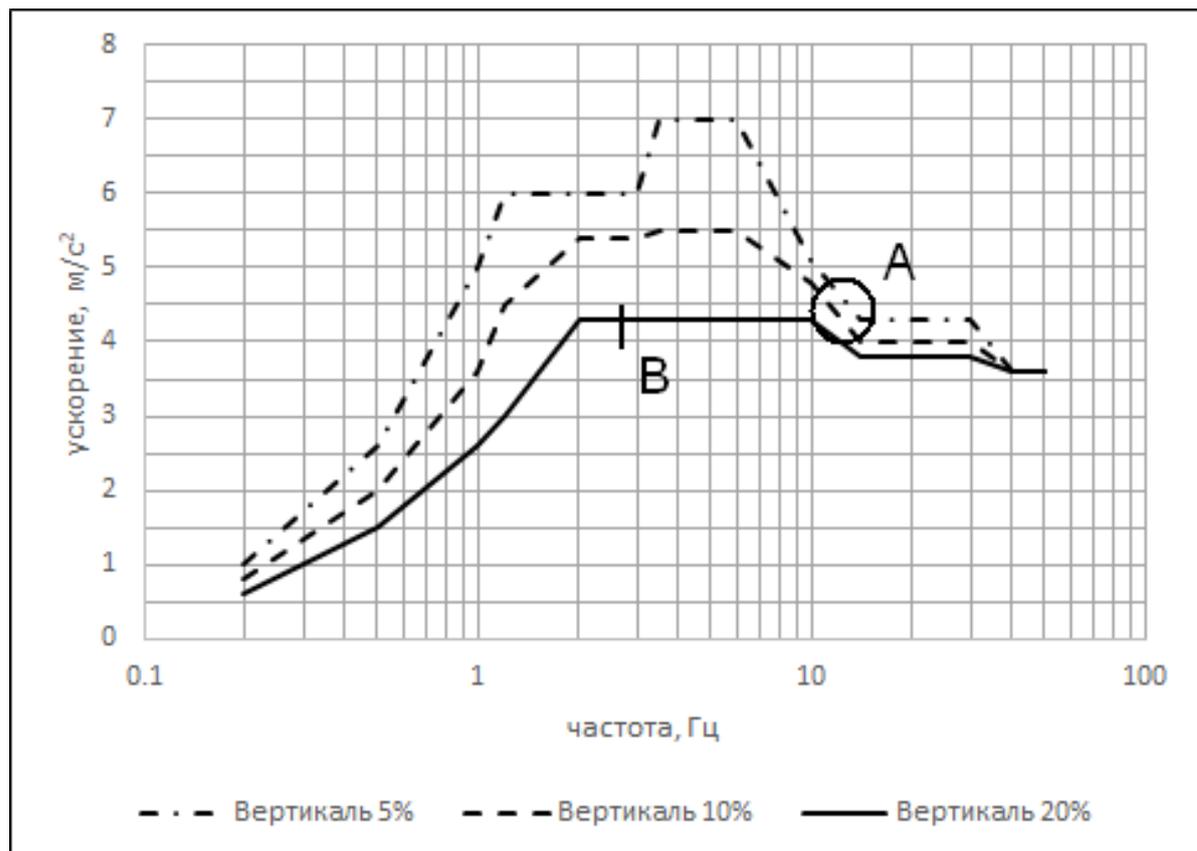


Рисунок С.2 - Спектры ответа на грунте в вертикальном направлении

Пример 2:

Оценка параметров движения СИС с использованием двумерной модели и расчета во временной области.

На рисунке С3 показана простейшая двумерная модель здания на сейсмоизоляции. Верхнее строение представлено единственной массой $M1 = 200 \cdot 10^6$ кг и тремя абсолютно жесткими элементами. Элементы СИС разбиты на две группы, которые разнесены от центра модели на эффективный радиус $R = 25$ м. Сейсмическое воздействие моделируется приложением переменных усилий к «сейсмической» массе $M2 = 1 \cdot 10^{11}$ кг. Масса $M2$ может двигаться только в двух направлениях: горизонтальном (X) и вертикальном (Z). Остальные степени свободы закреплены.

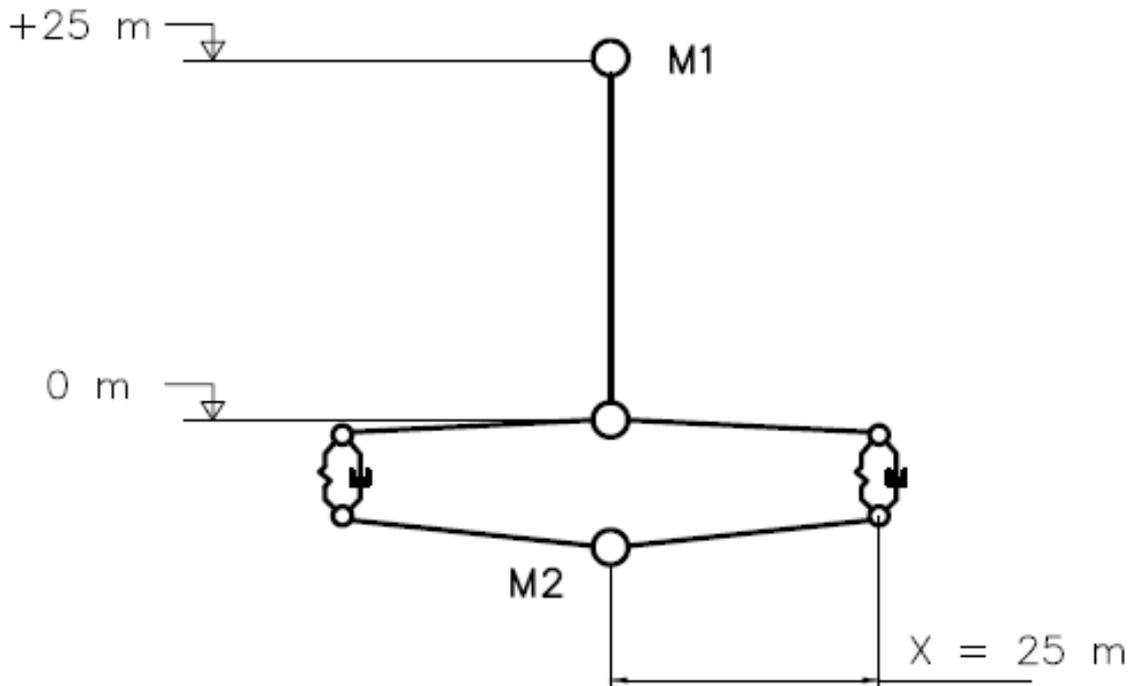


Рисунок С3 - Двумерная модель здания на СИС

Вертикальные жесткости пружин: $K_v/2 = 442 \cdot 1,11e8 / 2 = 2,45e10$ Н/м;

Горизонтальные жесткости пружин: $K_h/2 = 442 \cdot 1,37e7 / 2 = 3,03e9$ Н/м;

Величины суммарного вязкого сопротивления, рассчитаны для базовой величины номинального демпфирования 20%. Для вертикального направления:

$$B_v = 0,2 \cdot 2\sqrt{n \cdot K_v \cdot M} = 0,2 \cdot 2\sqrt{442 \cdot 1,11e8 \cdot 2 \cdot e8} = 1,26e9 \text{ Н} \cdot \text{с/м}.$$

Для горизонтального направления:

$$B_h = 0,2 \cdot 2\sqrt{n \cdot K_h \cdot M} = 0,2 \cdot 2\sqrt{442 \cdot 1,37e7 \cdot 2 \cdot e8} = 4,40e8 \text{ Н} \cdot \text{с/м}.$$

Вертикальные вязкости демпферов в модели: $B_v/2 = 6,25e8$ Нс/м;

Горизонтальные вязкости демпферов в модели: $B_h/2 = 2,20e8$ Нс/м;

Расчет произведен методом прямого интегрирования уравнений движения по схеме Ньюмарка с коэффициентами: $\delta = 0,5$; $\alpha = 0,25$. Коэффициенты демпфирования Рэлея были заданы нулевыми.

В результате расчета на набор из двух акселерограмм, соответствующих спектрам на рисунках В1 и В2, максимальные ускорения для массы М1 составили: $a_x = 4,04 \text{ м/с}^2$, $a_z = 4,30 \text{ м/с}^2$.

Перемещения в слое сейсмоизоляции составили $dx = 195$ мм; $dz = 41$ мм. При этом вертикальные деформации изоляторов уже учитывают динамический крен здания. Весовая вертикальная деформация пружинных блоков составляет 40 мм. При сейсмической разгрузке 41 мм будет происходить отрыв опоры, необходимо принять конструктивные меры, позволяющие пружинам работать на растяжение.

Расчет по такой модели с использованием акселерограмм позволяет получить оценку не только для величины пиковых ускорений на отметке М1, но и форму поэтажного спектра ответа. Спектры ответа для массы М1 и демпфирования 2% приведены на рисунке ПЗ.4. Сравнивая эти спектры с аналогичными спектрами, полученными из расчета здания без сейсмоизоляции, можно получить представление об ожидаемой эффективности СИС.

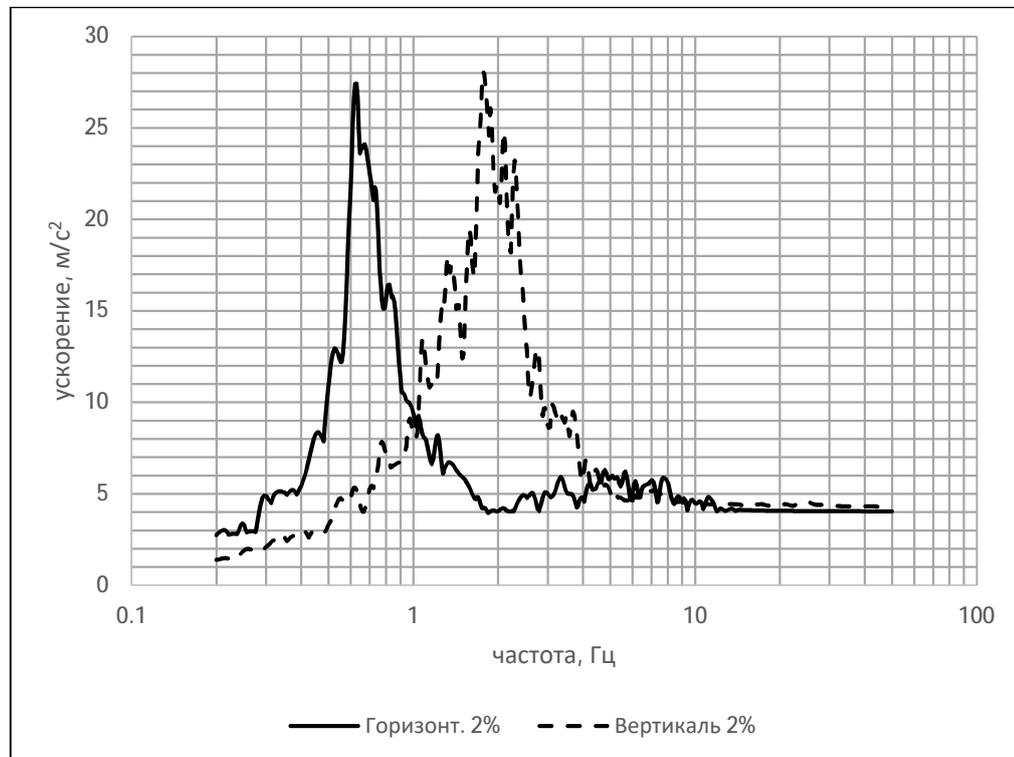


Рисунок С4 - Спектры ответа на отметке +25м. Демпфирование 2%

Дальнейшее уточнение результатов расчета может быть достигнуто введением балочной модели здания, моделированием свойств грунтового основания и переходом к подробной трёхмерной модели.

Лист регистрации изменений

Изм.	№ страницы	Описание изменения	Автор изменения	Подпись	Дата