

**Особенности
проектирования оснований
и фундаментов зданий и
сооружений в
сейсмических
районах**

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений всегда являлось одной из основных задач при проектировании и возведении зданий и сооружений в сейсмоопасных районах.

В последнее время её актуальность существенно возросла в связи с участившимися случаями землетрясений, с большими человеческими жертвами и огромным материальным ущербом.

В России более 30% территории являются сейсмоопасными с расчетной интенсивностью землетрясений 7 – 9 баллов. Кроме того, новая нормативная карта сейсмического районирования Российской Федерации ОСР – 2016 “Общее сейсмическое районирование территории РФ”, введенная в действие в феврале 2020 г., наглядно подтверждает тенденцию увеличения таких районов.

В последнее время повышена фоновая сейсмичность в Забайкалье, в районах Северного Кавказа, на Сахалине, у побережья Черного моря.

В связи с этим становится актуальной разработка антисейсмических мероприятий для обеспечения способности зданиями воспринимать землетрясения ожидаемой интенсивности с минимальным ущербом.

1 Термины и определения

1.1 абсолютное движение: Движение точек сооружения, определяемое как сумма переносного и относительного движений во время землетрясения.

1.2 акселерограмма (велосигграмма, сейсмограмма): Зависимость ускорения (скорости, смещения) от времени точки основания или сооружения в процессе землетрясения, имеющая одну, две или три компоненты.

1.3 акселерограмма землетрясения: Запись во времени процесса изменения ускорения колебаний грунта (основания) для определенного направления.

1.4 акселерограмма синтезированная: Акселерограмма, полученная с помощью расчетных методов, в том числе, на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и/или спектров реальных землетрясений с учетом местных сейсмологических условий.

1.5 активный разлом: Тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений бортов разлома в позднем плейстоцене - голоцене (за последние 100000 лет), величина (скорость) которых такова, что она представляет опасность для сооружений и требует специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения их безопасности.

1.6 антисейсмические мероприятия: Совокупность конструктивных и планировочных решений, основанных на выполнении требований, обеспечивающая определенный, регламентированный нормами, уровень сейсмостойкости сооружений.

1.7 вторичная схема: Расчетная схема, отражающая состояние сооружения в период времени от момента окончания землетрясения до начала ремонтных работ.

1.8 детальное сейсмическое районирование (ДСР): Определение возможных сейсмических воздействий, в том числе в инженерных терминах, на конкретные существующие и проектируемые сооружения, территории населенных пунктов и отдельных районов. Масштаб карт ДСР - 1:500000 и крупнее.

1.9 динамический метод анализа: Метод расчета на воздействие в виде акселерограмм колебаний грунта в основании сооружения путем численного интегрирования уравнений движения.

1.10 железобетонный каркас с железобетонными диафрагмами, ядрами жесткости или стальными связями: Конструктивная система, в которой восприятие вертикальных нагрузок обеспечивается в основном пространственным каркасом.

Сопротивление горизонтальным нагрузкам, обеспечиваемое железобетонными диафрагмами, ядрами жесткости или стальными связями, составляет более 35% и менее 65% общего сопротивления горизонтальным нагрузкам всей конструктивной системы.

1.11 интенсивность землетрясения: Оценка воздействия землетрясения в баллах 12-балльной шкалы, определяемая по макросейсмическим описаниям разрушений и повреждений природных объектов, грунта, зданий и сооружений, движений тел, а также по наблюдениям и ощущениям людей.

1.12 исходная сейсмичность: Сейсмичность района или площадки, определяемая для нормативных периодов повторяемости и средних грунтовых условий с помощью ДСР или уточнения исходной сейсмичности - УИС (или принятая равной нормативной сейсмичности).

1.13 каркасные здания: Конструктивная система, в которой как вертикальным, так и нагрузкам в любом из горизонтальных направлений в основном противодействует

пространственный каркас, а его сопротивление горизонтальным нагрузкам составляет более 65% общего сопротивления горизонтальным нагрузкам всей конструктивной системы.

1.14 каркасно-каменные здания: Здания с монолитными железобетонными каркасами, при возведении которых применяют специфическую технологию: вначале возводят кладку, которую используют в качестве опалубки при бетонировании элементов каркаса.

1.15 категория грунта по сейсмическим свойствам (I, II, III или IV): Характеристика, выражающая способность грунта в примыкающей к сооружению части основания ослаблять (или усиливать) интенсивность сейсмических воздействий, передающихся от грунтового основания на сооружение.

1.16 комплексная конструкция: Стеновая конструкция из кладки, выполненной с применением кирпича, бетонных блоков, натуральных или искусственных камней и усиленная железобетонными включениями, не образующими рамы (каркас).

1.17 конструктивная нелинейность: Изменение расчетной схемы сооружения в процессе его нагружения, связанное с взаимными смещениями (например, раскрытием швов и трещин, проскальзыванием) отдельных частей сооружения и основания.

1.18 линейно-спектральный метод анализа (ЛСМ): Метод расчета на сейсмостойкость, в котором значения сейсмических нагрузок определяют по коэффициентам динамичности в зависимости от частот и форм собственных колебаний конструкции.

1.19 линейный временной динамический анализ (линейный динамический анализ): Временной динамический анализ, при котором материалы сооружения и грунты основания принимаются линейно-упругими, а геометрическая и конструктивная нелинейность в поведении системы "сооружение-основание" отсутствует.

1.20 максимальное расчетное землетрясение (МРЗ): Землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 1000 лет и один раз в 5000 лет - для объектов повышенной ответственности (для гидротехнических сооружений). Принимают по комплектам карт ОСР-2016 В и С соответственно.

1.21 монолитно-каменные здания: Здания с трехслойными или многослойными стенами, в которых бетонирование основного несущего слоя из монолитного железобетона осуществляют с применением двух наружных слоев кладки с применением естественных или искусственных камней, использующихся в качестве несъемной опалубки. В необходимых случаях устраиваются дополнительные термоизолирующие слои.

1.22 нарушение нормальной эксплуатации: Нарушение в работе строительного объекта, при котором произошло отклонение от установленных эксплуатационных пределов и условий.

1.23 нелинейный временной динамический анализ (нелинейный динамический анализ): Временной динамический анализ, при котором учитывают зависимость механических характеристик материалов сооружения и грунтов основания от уровня напряжений и характера динамического воздействий, а также возможны геометрическая и конструктивная нелинейность в поведении системы "сооружение-основание".

1.24 нормальная эксплуатация: Эксплуатация объекта строительства в определенных проектом эксплуатационных пределах и условиях.

1.25 нормативная сейсмичность: Сейсмичность района нахождения гидротехнического сооружения, определяемая для нормативных периодов повторяемости по картам ОСР-2016.

1.26 общее сейсмическое районирование (ОСР): Представляет собой оценку сейсмической опасности на территории всей страны и имеет общегосударственное

значение для осуществления рационального землепользования и планирования социально-экономического развития крупных регионов. Масштаб карт ОСР - 1:2500000-1:8000000.

1.27 осциллятор: Одномассовая линейно-упругая динамическая система, состоящая из массы, пружины и демпфера.

1.28 относительное движение: Движение точек сооружения относительно основания во время землетрясения под влиянием сейсмических сил (нагрузок).

1.29 переносное движение: Совместное движение сооружения и основания во время землетрясения как единого недеформируемого целого с ускорениями (скоростями или смещениями) основания.

1.30 площадка гидротехнического сооружения (площадка строительства): Территория, на которой проектируется (или размещается) гидротехническое сооружение.

1.31 проектное землетрясение (ПЗ): Землетрясение максимальной интенсивности на площадке строительства с повторяемостью один раз в 500 лет (для гидротехнических сооружений).

1.32 прямой динамический метод расчета сейсмостойкости (ПДМ): Метод численного интегрирования уравнений движения, применяемый для анализа вынужденных колебаний конструкций при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммами землетрясений.

1.33 рамно-связевая система: Система, состоящая из рам (каркаса) и вертикальных диафрагм, стен или ядер жесткости и воспринимающая горизонтальные и вертикальные нагрузки. Горизонтальную и вертикальную нагрузки распределяют между рамами (каркасами) и вертикальными диафрагмами (и другими элементами) в зависимости от соотношения жесткостей этих элементов.

1.34 расчетная сейсмичность: Значение расчетного

сейсмического воздействия для заданного периода повторяемости, выраженное в баллах макросейсмической шкалы или в кинематических параметрах движения грунта (ускорения, скорости, смещения).

1.35 расчетные сейсмические воздействия: Сейсмические воздействия, применяемые в расчетах сейсмостойкости сооружений (акселерограммы, велосигramмы, сейсмограммы и их основные параметры - амплитуда, длительность, спектральный состав).

1.36 резонансная характеристика грунта: Совокупность характерных периодов (или частот), на которых достигается резонансное усиление колебаний основания сооружения при прохождении сейсмических волн.

1.37 связевая система: Система, состоящая из рам (каркаса) и вертикальных диафрагм, стен и (или) ядер жесткости; при этом расчетная горизонтальная нагрузка полностью воспринимается диафрагмами, стенами и (или) ядрами жесткости.

1.38 сейсмическое воздействие: Движение грунта, вызванное природными или техногенными факторами (землетрясения, взрывы, движение транспорта, работа промышленного оборудования), обуславливающее движение, деформации, иногда разрушение сооружений и других объектов.

1.39 сейсмическое микрорайонирование (СМР): Оценивает влияние свойств грунтов на сейсмические колебания в пределах площадей расположения конкретных сооружений и на территории населенных пунктов. Масштаб карт СМР - 1:50000 и крупнее.

1.40 сейсмическая (инерционная) сила, сейсмическая нагрузка: Сила (нагрузка), возникающая в системе "сооружение-основание" при колебаниях основания сооружения во время землетрясения.

1.41 сейсмический район: Район с установленными и

возможными очагами землетрясений, вызывающими на площадке строительства сейсмические воздействия интенсивностью 6 и более баллов.

1.42 сейсмическое районирование (СР): Картирование сейсмической опасности, основанное на выявлении зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и определении сейсмического эффекта, создаваемого ими на земной поверхности.

Карты СР служат для осуществления сейсмостойкого строительства, обеспечения безопасности населения, охраны окружающей среды и других мероприятий, направленных на снижение ущерба при сильных землетрясениях.

1.43 сейсмичность площадки строительства: Интенсивность расчетных сейсмических воздействий на площадке строительства с соответствующими периодами повторяемости за нормативный срок.

Сейсмичность устанавливают в соответствии с картами сейсмического районирования и сейсмомикрорайонирования площадки строительства и измеряют в баллах по шкале MSK-64.

1.44 сейсмоизоляция: Снижение сейсмических нагрузок на сооружение за счет применения 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);
- резервных, выключающихся элементов.

1.45 сейсмичность территории: Максимальная интенсивность сейсмических воздействий в баллах на рассматриваемой территории для принятого периода повторяемости землетрясения.

1.46 сейсмогенерирующий разлом: Тектонический разлом, с которым связаны возможные очаги землетрясений.

1.47 скоростные характеристики грунта: Скорости распространения сейсмических (продольных V_p и поперечных V_s волн в грунтах оснований, измеряемые в $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

1.48 сейсмостойкость сооружения: Способность сооружения сохранять после расчетного землетрясения функции, предусмотренные проектом, например:

- отсутствие глобальных обрушений или разрушений сооружения или его частей, способных обусловить гибель и травматизм людей;
- эксплуатация сооружения после восстановления или ремонта.

1.49 спектр отклика однокомпонентной акселерограммы: Функция, связывающая между собой максимальное по модулю ускорение одномассового линейного осциллятора и соответствующий этому ускорению период (либо частоту)

собственных колебаний того же осциллятора, основание которого движется по закону, определенному данной акселерограммой.

1.50 средние грунтовые условия: Грунты категории II по сейсмическим свойствам.

1.51 стеновая система: Конструктивная система, в которой, как вертикальным, так и нагрузкам в любом из горизонтальных направлений в основном противодействуют вертикальные несущие стены, прочность на сдвиг которых в основании здания составляет более 65% общей прочности на сдвиг всей конструктивной системы.

1.52 эффективная модальная масса μ_i : Доля массы сооружения, участвующей в динамической реакции по определенной форме колебаний при заданном направлении сейсмического воздействия в виде смещения основания как абсолютно жесткого тела.

1.53 суммарная эффективная модальная масса: Сумма эффективных модальных масс по учитываемым в расчете форм колебаний

$$\bar{\mu} = \sum_{i=1}^{\bar{n}} \mu_i ,$$

где $\bar{n}$ - число учтенных в расчете форм колебаний.
При учете всех форм должно выполняться условие

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i = 1 ,$$

где n - число всех форм колебаний (число динамических степеней свободы системы).