
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НИУ МГСУ)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Расчетные положения

СТО НИУ МГСУ 2015

Москва – 2015 г.

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Сведения о стандарте

1. **ИСПОЛНИТЕЛИ:** Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ).
2. **ВНЕСЕН:** Институтом фундаментального образования (ИФО).
3. **ПОДГОТОВЛЕН:** Научно-исследовательской лабораторией «Надежность и сейсмостойкость сооружений».
4. **УТВЕРЖДЕН:** решением Ученого совета Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «НИУ Московский государственный строительный университет».

Содержание

	Стр.
Введение	4
1. Область применения.....	5
2. Нормативные ссылки.....	5
3. Термины и определения.....	6
4. Основные положения.....	7
5. Расчеты на сейсмические воздействия.....	10
5.1. Расчетные нагрузки.....	10
5.2. Методы расчетов.....	11

Введение

В настоящем стандарте приведены требования, соответствующие целям технических регламентов в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании».

Работа выполнена Научно-исследовательской лабораторией «Надежность и сейсмостойкость сооружений» МГСУ (исполнители: к.т.н., проф. Г.А. Джинчвелашвили; д.ф.-м.н., проф. С.В. Кузнецов; д.т.н., проф. О.В. Мкртычев).

В работе использованы предложения А.М. Курзанова, Ю.П. Назарова, А.Е. Саргсяна, Г.Э. Шаблинского и других специалистов.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
Московский государственный строительный университет
(СТО НИУ МГСУ 2015)

«Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения»

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт следует соблюдать при проектировании жилых, общественных и производственных зданий и сооружений, возводимых на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64.

Строительство на площадках сейсмичностью более 9 баллов допускается только после соответствующего расчетного обоснования научно-исследовательской организацией возможности такого строительства. Проектирование на данных площадках осуществляется при научно-техническом сопровождении указанной организацией, по разработанным ею специальным техническим условиям (СТУ), согласованным в установленном порядке.

2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие документы:

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

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

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 №190-ФЗ

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

Федеральный закон от 30 декабря 2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

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

СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции

СНиП II-23-81*. Стальные конструкции

СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений

СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты

СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные

СНиП 31-05-2003. Общественные здания административного назначения

СНиП 31-03-2001. Производственные здания

СП 14.133330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81*.

Сейсмобезопасность России. Термины и определения: <http://seismorus.ru/lexicon>

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящих нормах применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Акселерограмма – зависимость ускорения колебаний объекта во времени.

Акселерограмма землетрясения – акселерограмма на свободной поверхности грунта при землетрясении.

Акселерограмма синтезированная – акселерограмма, полученная путем моделирования на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и спектров реальных землетрясений с учетом местных сейсмических условий.

Линейно-спектральный метод (ЛСМ) – метод расчета конструкций на динамические воздействия путем решения системы уравнений движения с помощью разложения колебаний по формам.

Нелинейный динамический метод (НДМ) – метод расчета конструкций на динамические воздействия, основанный на прямом интегрировании уравнений движения, позволяющий учесть физическую, геометрическую и конструктивную нелинейности.

Нелинейный статический метод (pushover analysis) (НСМ) – метод расчета конструкций на динамические воздействия, в котором используется спектр ускорений и кривая равновесных состояний (кривая несущей способности), полученная теоретически или экспериментально в результате статического нагружения с учетом нелинейного характера работы конструкций.

Максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) – землетрясение с максимальной интенсивностью на площадке строительства с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-97А).

Проектное землетрясение (ПЗ) – землетрясения с максимальной интенсивностью на площадке строительства с периодом повторяемости раз в 100 лет. При отсутствии соответствующих данных, принимается уменьшенная на 1 балл интенсивность, полученная для уровня МРЗ.

Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$ – интенсивность возможных сейсмических воздействий ПЗ и МРЗ на площадке строительства с учетом грунтовых условий, измеряемая в баллах по шкале MSK-64.

Сейсмичность района строительства I – интенсивность сейсмических воздействий в баллах для района строительства, принимаемая на основе актуализированного комплекта карт общего сейсмического районирования в полубалльном представлении территории Российской Федерации (ОСР-97*).

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) – комплекс специальных работ по прогнозированию влияния особенностей приповерхностного строения, свойств и состояния пород, характера их обводненности, рельефа на параметры колебаний грунта площадки.

Спектр коэффициента динамичности – усредненный безразмерный спектр, полученный делением абсолютных значений максимальных ответных ускорений линейного осциллятора с определенным параметром демпфирования при заданных семейством акселерограмм воздействиях на соответствующее максимальное ускорение грунта при изменении периода колебаний данного осциллятора.

4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1. В расчетах используются следующие критерии сейсмостойкости.

Прочностной критерий (по 1-му предельному состоянию).

Должны выполняться все проверки несущих элементов по 1-й группе предельных состояний в соответствии с действующими нормативными документами. Критерий используется при расчете на проектное землетрясение (ПЗ).

Критерий необрушения (по особому предельному состоянию: устойчивость к прогрессирующему обрушению).

Допускаются повреждения и отказы отдельных несущих элементов, но они не должны приводить к лавинообразному обрушению всей конструкции или ее части. Критерий используется при расчете на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

4.2. При проектировании в сейсмических районах необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

здания и сооружения должны воспринимать относительно частые, но менее интенсивные сейсмические воздействия, соответствующие уровню ПЗ, при обязательном выполнении условий 1-го предельного состояния (прочностной критерий);

здания и сооружения должны воспринимать редкие, но более интенсивные сейсмические воздействия, соответствующие уровню МРЗ, без местного и общего обрушения несущих конструкций (критерий необрушения).

4.3. По ответственности здания и сооружения подразделяются на 3 уровня, в соответствии с ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»:

1 – повышенный;

2 – нормальный;

3 – пониженный.

В расчетах используется коэффициент надежности по ответственности γ_n . Численные значения γ_n принимаются согласно ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.

4.4. По сложности конструктивной схемы здания и сооружения подразделяются на 3 категории (табл.4.1):

1 – сложные;

2 – средней сложности;

3 – простые.

Таблица 4.1. Категории сложности конструктивной схемы

Категория сложности конструктивной схемы	Высота здания, м (число надземных этажей), не более	Пролет, м, не более	Вылет консоли, м, не более
3	21 (5)	12	3
2	55 (16)	36	10
1	100	100	20

Примечания.

1. За высоту здания принимают разность отметок верха фундаментной конструкции (фундаментной плиты, ростверка) и оси верхнего перекрытия или покрытия.

2. Если в проектной документации предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

а) высота более 100 м;

б) пролет более 100 м;

в) наличие консоли более 20 м,

то строительство допускается только после соответствующего расчетного обоснования научно-исследовательской организацией возможности такого строительства.

При этом проектирование осуществляется при научно-техническом сопровождении указанной организацией, по разработанным ею специальным техническим условиям (СТУ), согласованным в установленном порядке.

4.5. Интенсивность сейсмических воздействий в баллах (сейсмичность) для района строительства следует принимать на основе актуализированного комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97*, утвержденных Российской академией наук.

Период повторяемости землетрясений на используемых картах интенсивности составляет:

- карта ОСР-97*-100-0,5i : $T = 100$ лет;
- карта ОСР-97*-500-0,5i : $T = 500$ лет;
- карта ОСР-97*-1000-0,5i : $T = 1000$ лет.

4.6. Непосредственно для площадки строительства следует производить уточнение сейсмичности на основании сейсмического микрорайонирования (СМР). При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования, допускается уточнять сейсмичность площадки строительства по материалам инженерно-геологических изысканий, согласно табл.4.2.

4.7. В расчетах на сейсмические воздействия используются следующие методы (см. раздел 5.2):

- линейно-спектральный метод (ЛСМ) на основе линейно-спектральной теории (ЛСТ);
- нелинейный статический метод (НСМ);
- нелинейный динамический метод (НДМ).

4.8. При проектировании зданий и сооружений в сейсмических районах надлежит:
 применять материалы и конструкции, обладающие минимальным весом;
 отдавать предпочтение симметричным конструктивным схемам;
 стремиться к равномерному распределению жесткостей, масс и нагрузок на перекрытия;
 для обеспечения сейсмостойкости здания допускается применение систем сейсмозащиты при обязательном научно-техническом сопровождении.

Таблица 4.2. Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Дополнительная характеристика сейсмических свойств грунтов		Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$ при сейсмичности района строительства I
		Сейсмическая жесткость $\rho \cdot V_s$ (г/см ³ ·м/с)	Скорость поперечных волн V_s , м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн, V_p/V_s	

Примечания

1. Скорости V_p и V_s , а также величина сейсмической жесткости грунта являются средневзвешенными значениями для 30-метровой толщи, считая от планировочной отметки.
2. В случае многослойного строения грунтовой толщи, грунтовые условия участка относят к более неблагоприятной категории, если в пределах верхней 30-метровой толщи (считая от планировочной отметки) слои, относящиеся к этой категории, имеют суммарную мощность более 10 м.
3. При отсутствии данных о консистенции, влажности, сейсмической жесткости, скоростях V_p и V_s глинистые и песчаные грунты при положении уровня грунтовых вод выше 5 м относятся к III категории по сейсмическим свойствам.
4. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов (в том числе просадочных) категорию грунтов следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии.
5. При строительстве на вечномерзлых грунтах по принципу II грунты основания следует рассматривать по фактическому их состоянию после оттаивания.

5. РАСЧЕТЫ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

5.1. Расчетные нагрузки

5.1.1. Расчет конструкций зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий. При расчете зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок принимаются расчетные значения нагрузок.

Горизонтальные нагрузки от масс на гибких подвесках, температурные климатические воздействия, ветровые нагрузки, динамические воздействия от оборудования и транспорта при этом не учитываются.

5.1.2. При расчете на сейсмические воздействия рассматриваются две расчетные ситуации: проектное землетрясение (ПЗ) и максимальное расчетное землетрясение (МРЗ).

5.1.3. Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$ для ПЗ и МРЗ принимается в зависимости от уровня ответственности здания или сооружения на основе сейсмичности района I по картам ОСР-97* (см. табл.5.1) с уточнением по результатам СМР или согласно табл.4.2.

Таблица 5.1. Сейсмичность района строительства для ПЗ и МРЗ

Уровень ответственности здания или сооружения	Сейсмичность района строительства I по картам ОСР-97* с периодом повторяемости землетрясения T , лет	
	ПЗ	МРЗ
I – повышенный	500	1000
II – нормальный	100	500
III – пониженный	100	500

5.1.4. При использовании в качестве внешнего воздействия акселерограмм землетрясений необходимо выполнять их нормирование по интенсивности в соответствии с принятой сейсмичностью площадки строительства для ПЗ и МРЗ.

В расчетах используются трехкомпонентные акселерограммы землетрясений, а именно (см. табл.5.2):

прилагаемый к СТО представительный набор акселерограмм;

синтезированные акселерограммы с наиболее неблагоприятными для рассматриваемого здания или сооружения параметрами.

5.1.5. В зависимости от категории сложности конструктивной схемы зданий и сооружений выполняются указанные в табл.5.2 типы расчетов на сейсмические воздействия.

Таблица 5.2. Типы расчетов на сейсмические воздействия

Категория сложности	Тип расчета	Метод расчета	Расчетная ситуация	Расчетное воздействие	Расчетный критерий
3	1	ЛСМ	ПЗ	по ЛСТ	прочностной
	2	НСМ	МРЗ	по ЛСТ	необрушения
2	1а	ЛСМ	ПЗ	по ЛСТ	прочностной
	1б			набор аксел.	
	2	НСМ	МРЗ	набор аксел.	необрушения
1	1а	ЛСМ	ПЗ	по ЛСТ	прочностной
	1б			набор аксел.	
	2	НСМ	МРЗ	набор аксел.	необрушения
	3	НДМ	МРЗ	синтез. аксел.	необрушения

5.1.6. Проектирование зданий и сооружений 1 категории сложности конструктивной схемы выполняется при обязательном научном сопровождении.

5.2. Методы расчетов

Линейно-спектральный метод

5.2.1. Рекомендуется использовать пространственные расчетные динамические модели с сосредоточенными в узлах массами.

5.2.2 Расчетное значение сейсмической нагрузки $S_{k,i}$, приложенной к узлу k и соответствующее i -ой форме собственных колебаний здания или сооружения, следует определять по формуле:

$$S_{k,i} = k_{\psi} \cdot S_{k,i}^0, \quad (5.1)$$

где k_{ψ} – коэффициент, учитывающий диссипативные характеристики конструктивной системы, принимаемый согласно табл.5.4;

$S_{k,i}^0$ – сейсмическая нагрузка по i -ой форме собственных колебаний сооружения, которая определяется в предположении упругого деформирования конструкций по формуле:

$$S_{k,i}^0 = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_{k,i}, \quad (5.2)$$

где Q_k – нагрузка, отвечающая массе, принятой в качестве сосредоточенной в k -ом узле;

A – максимальное ускорение грунта основания в долях g , которое принимается по табл.5.5 в зависимости от сейсмичности площадки строительства $I_{пл}$;

β_i – спектральный коэффициент динамичности, соответствующий i -ой форме собственных колебаний здания или сооружения, принимается согласно п. 5.2.3;

$\eta_{k,i}$ – коэффициент, зависящий от формы собственных колебаний здания или сооружения и от места приложения нагрузки, определяется по формуле:

$$\eta_{ki} = \frac{X_i(z_k) \sum_{j=1}^n Q_j X_i(z_j) \cos(X_{k,i}, \ddot{x}_0)}{\sum_{j=1}^n Q_j X_i^2(z_j)}; \quad \sum_{i=1}^n \eta_{ki} = 1, \quad (5.3)$$

где $X_i(z_k)$, $X_i(z_j)$ – перемещения здания или сооружения при собственных колебаниях по i -ой форме;

$\cos(X_{k,i}, \ddot{x}_0)$ – косинусы углов между направлениями перемещения $X_{k,i}$ и вектора сейсмического воздействия \ddot{x}_0 .

При соответствующем обосновании может быть решена неполная проблема собственных значений, тогда:

$$\sum_{i=1}^n \eta_{ki} < 1.$$

Таблица 5.4. Значения коэффициента k_ψ

Материал конструкции	Логарифмический декремент колебаний δ	Параметр затухания ξ , в % от критического	Значения коэффициента k_ψ
Сталь	0,2	3,0	1,25
Дерево	0,2	3,0	1,25
Железобетон	0,3	5,0	1,0
Кирпич	0,4	7,0	0,833
Для других значений относительного коэффициента затухания ξ допускается определение коэффициента k_ψ по формуле: $k_\psi = \frac{10}{5 + \xi}$			

Таблица 5.5. Максимальное ускорение грунта основания A

Сейсмичность площадки строительства $I_{пл}$, баллы	Максимальное ускорение грунта основания A , в долях g
7	0,1
7,5	0,15
8	0,2
8,5	0,3
9	0,4

5.2.3. Значения коэффициента динамичности β_i в зависимости от категории грунта и периода i -ой формы свободных колебаний T_i (в секундах) определяются по графикам (рис.5.1) или по следующим формулам (для критического затухания $\xi = 5\%$).

Для грунтов I категории:

$$\begin{aligned} \beta_i &= 1 + 20 \cdot T_i \text{ при } 0 \leq T_i < 0,1; \\ \beta_i &= 3,0 \text{ при } 0,1 < T_i < 0,4; \\ \beta_i &= 3,0 \left(\frac{0,4}{T_i} \right)^{0,6} \text{ при } T_i \geq 0,4. \end{aligned} \quad (5.4)$$

Для грунтов II категории:

$$\begin{aligned} \beta_i &= 1,2 + 7,5 \cdot T_i \text{ при } 0 \leq T_i < 0,2; \\ \beta_i &= 2,7 \text{ при } 0,2 < T_i < 0,6; \\ \beta_i &= 2,7 \left(\frac{0,6}{T_i} \right)^{0,6} \text{ при } T_i \geq 0,6. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Для грунтов III категории:

$$\begin{aligned} \beta_i &= 1 + 5 \cdot T_i \text{ при } 0 \leq T_i < 0,3; \\ \beta_i &= 2,5 \text{ при } 0,3 < T_i < 0,8; \\ \beta_i &= 2,5 \left(\frac{0,8}{T_i} \right)^{0,6} \text{ при } T_i \geq 0,8. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Во всех случаях значения β_i должны приниматься не менее 0,8.

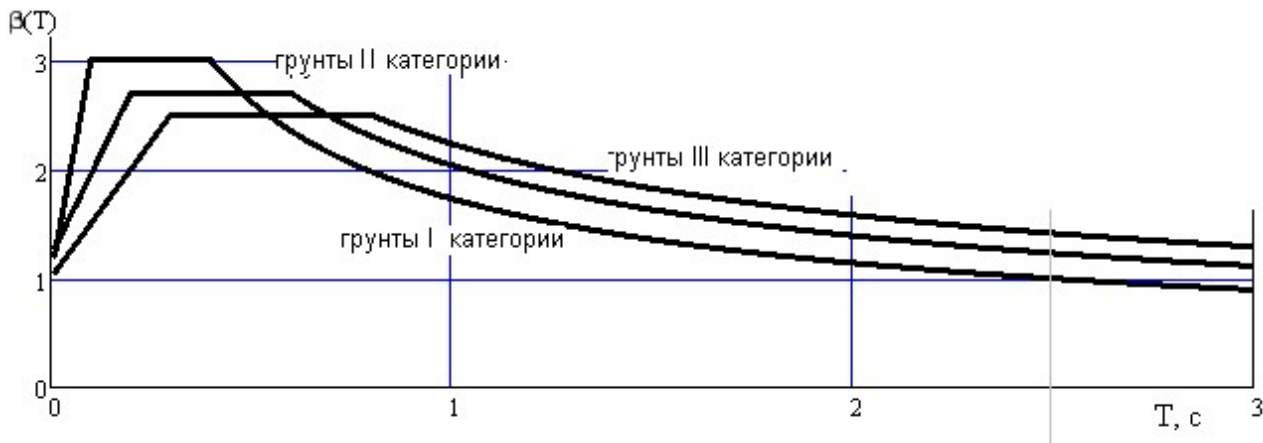


Рис.5.1. Спектральная кривая коэффициента динамичности β_i

5.2.5. Расчетные значения усилий в элементах конструкций от расчетных сейсмических нагрузок следует определять по формуле:

$$N_s^p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_{si}^2 + 2 \sum_{\substack{j,i=1 \\ i \neq j}}^n \rho_{ij} N_{si} N_{sj}} , \quad (5.7)$$

где N_{si} , N_{sj} – значения усилий в рассматриваемом сечении s , вызываемых сейсмическими нагрузками по i -ой или j -ой форме колебания по формулам (5.1) и (5.2);

n – число учитываемых форм колебаний;

ρ_{ij} – коэффициент корреляции, определяемый по формуле 5.8:

$$\rho_{ij} = \frac{4\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2} , \quad (5.8)$$

где $r = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (i < j)$;

ξ – выбирается по таблице 5.4