

## Аннотация

В книге предложены подходы к проектированию и строительству зданий и сооружений в сейсмических районах, которые позволяют обеспечить заданный уровень сейсмостойкости и заданную обеспеченность сейсмостойкости. Сформулированы основные нормативные положения для включения в действующие нормы проектирования и изложены положения нормативного документа нового поколения, опирающегося на теорию надежности строительных конструкций.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских организаций в области проектирования и строительства зданий и сооружений, специалистов, участвующих в разработке нормативных документов в строительстве, а также студентов и аспирантов ВУЗов, обучающихся по строительным специальностям.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	
<b>1. Пересмотр СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах».</b> <b>Разделы 4 и 5.....</b>	
<b>2. Двухуровневый расчет при проектировании сейсмостойких сооружений.....</b>	
<b>3. Стандарт организации «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения – СТО НИУ МГСУ – 2015». Нормы нового поколения.....</b>	
<b>4. Пояснительная записка к Стандарту организации «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения – СТО НИУ МГСУ – 2015».....</b>	

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка нормативных документов нового поколения, практически приемлемых для широкого круга проектировщиков, является первостепенной задачей в области сейсмостойкого строительства. В НИУ МГСУ разработан Стандарт организации «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения – СТО НИУ МГСУ – 2015», который является нормативным документом нового поколения.

Широкое внедрение данного документа предполагает достаточно высокий уровень проектировщиков, владеющих нелинейными статическими и динамическими методами расчетов. Кроме этого, должен быть проведен определенный объем теоретических и экспериментальных исследований по разработке нелинейных моделей материалов, нелинейных расчетных динамических моделей ж/б и стальных конструкций с учетом взаимодействия с грунтом основания. Должны быть разработаны модели сейсмических воздействий при рассмотрении землетрясения, как нестационарного случайного процесса.

Рассмотренные модели и методики должны быть верифицированы с учетом опыта проектирования в сейсмически активных районах и анализа последствий сильных землетрясений.

Для решения указанных задач требуется определенный переходный период, в течение которого должны быть разработаны соответствующие методические рекомендации и пособия по расчету и проектированию.

В основе действующих норм СП 14.13330.2014 лежит СНиП II-7-81\*, разработанный более 30 лет назад. Предложенный нами вариант разделов 4 и 5, следует рассматривать, как

следующий шаг в развитии норм. Предлагается перейти на полноценный двухуровневый расчет с опорой на аппарат теории надежности строительных конструкций с применением методик, напрямую учитывающих нелинейную работу сооружений.

Разработанный вариант разделов 4 и 5 является шагом к нормам нового поколения, отвечает современному уровню развития науки и проектирования и гармонизирован с передовыми зарубежными нормативными документами.

Нормами проектирования, разработанными в последнее время, допускается возможность работы материала конструкций за пределами упругости. Предполагается нелинейное поведение конструкций, и даже допускаются разрушения отдельных несущих элементов, которые должны быть относительно легкодоступны для обследования, ремонта и разрушение которых не наносит большого ущерба конструкции в целом.

Перед проектировщиками стоит задача рассчитать сооружения таким образом, чтобы при сильных землетрясениях разрушения не превышали определенного уровня, т.е. были бы контролируруемыми и приемлемыми.

Расчет конструкций с учетом нелинейного поведения при разрушении отдельных элементов сооружения требует использования более сложных математических моделей и теорий.

Порядка четверти территории нашей страны расположено в сейсмических районах. На антисейсмические мероприятия ежегодно выделяются большие средства. Решения о степени антисейсмического усиления базируются на расчетах сейсмостойкости сооружений по спектральной теории, регламентированной нормами. Однако, запроектированные по действующим нормам здания и сооружения не обеспечивают требуемого уровня сейсмостойкости при сильных землетрясениях. Об этом свидетельствуют, в частности, последствия Спитакского (1988г.) и Нефтегорского (1995г.) землетрясений, где разрушения были практически тотальными.

Сложность одновременного решения этих задачи определяется неполнотой информации о внешнем воздействии и недостаточной изученностью работы сооружений при интенсивных динамических нагрузках. Эти проблемы имеют своим следствием условность и дискуссионность многих общепринятых положений в действующих нормах проектирования и строительства в сейсмических районах, как в РФ, так и в других странах:

- параметры сейсмического воздействия имеют высокую степень неопределенности, как по спектральному составу, так и по амплитуде, а расчет практически ведется в детерминированной постановке;
- учет нелинейных эффектов в теории сейсмостойкости, когда нелинейность работы несущих конструкций сооружения учитывается лишь одним коэффициентом  $K_1$  – коэффициентом учитывающим допускаемые повреждения зданий и сооружений;
- расчетное внешнее воздействие фактически задается без привязки к системе сооружение - основание.

В течение последних десятилетий ученые в своих публикациях, докладах на различных форумах высказывают идею о целесообразности перехода от одно- к двухуровневому расчету. Эта идея основана на признании вероятностной природы землетрясений, интенсивность которых зависит (по физическим причинам) от их частоты (повторяемости). То есть при относительно более слабых землетрясениях, которые случаются чаще, не следует допускать значительные разрушения, наоборот, при сильных, но редких землетрясениях, целесообразно планировать локальные разрушения и неупругие деформации и допускать такие разрушения, но без глобальных обрушений, опасных для жизни и здоровья людей.

Количественное определение понятий «сильное», «слабое» землетрясение, «часто», «редко» как раз и определяется результатами оптимального проектирования. С этой точки зрения важно введение сейсмологами в нормы нескольких карт ОСР, отвечающих различной интенсивности и повторяемости землетрясений.

Подразумевается, что в течение срока службы здания и сооружения должны воспринимать сейсмические воздействия интенсивностью соответствующие:

- уровню ПЗ, при обязательном выполнении условий 1-й группы предельных состояний (прочностной критерий). Расчеты ведутся без учета коэффициента редукции также, как это делается, например, для ветровой и снеговой нагрузок;

- уровню МРЗ, без местного и общего обрушения несущих конструкций (критерий необрушения).

В настоящей работе с этих позиций представлены следующие разделы:

- разработанные разделы 4 и 5, для включения в СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах»;

- основные предпосылки двухуровневого расчета на сейсмические воздействия;

- стандарт организации «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения – СТО НИУ МГСУ – 2015»;

- пояснительная записка к Стандарту организации «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения – СТО НИУ МГСУ – 2015».

## **1. ПЕРЕСМОТР СП 14.13330.2014 «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ». РАЗДЕЛЫ 4 и 5**

### **4 Основные положения**

4.1 При проектировании зданий и сооружений надлежит:

применять материалы, конструкции и конструктивные схемы, обеспечивающие снижение сейсмических нагрузок;

принимать, как правило, симметричные конструктивные и объемно-планировочные решения с равномерным распределением нагрузок на перекрытия, масс и жесткостей конструкций в плане и по высоте;

предусматривать условия, облегчающие развитие в элементах конструкций и их соединениях пластических деформаций.

При назначении зон пластических деформаций и локальных разрушений следует принимать конструктивные решения, снижающие риск прогрессирующего разрушения сооружения или его частей.

4.2 Проектирование зданий высотой более 75 м должно осуществляться при научном сопровождении компетентной организации.

4.3 В картах Общего сейсмического районирования (ОСР-2012) приводятся данные об интенсивности землетрясений на территории Российской Федерации (таблица 1):

Таблица 1 – Средняя повторяемость землетрясений по картам

#### **Общего сейсмического районирования (ОСР-2012)**

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 Е	5000
ОСР-2012 F	10000

Сейсмическими районами считаются районы, для которых интенсивность землетрясений по карте ОСР-2012 В не меньше 7 баллов. Действие данных норм распространяется на проектирование в сейсмических районах сейсмичностью до 9 баллов включительно. Проектирование производится для площадок с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов.

4.4 За проектное землетрясение (ПЗ) принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясения максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 100 лет (карта ОСР-2012 А).

4.5 За максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясение максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-2012 В).

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 таблице 2.

4.7 Площадки строительства на участках с крутизной склонов более 15°, с оползнями, обвалами, осыпями, карстом, селями, а также участки, сложенные грунтами IV категорий являются неблагоприятными в сейсмическом отношении.

4.8 При необходимости строительства зданий и сооружений на таких площадках следует принимать дополнительные меры по укреплению их оснований, усилению конструкций и инженерной защите территории от опасных геологических процессов.

4.9 Проектирование на данных площадках строительства должно осуществляться при научном сопровождении компетентной организации.

Таблица 2 – Расчетная сейсмичность площадки строительства

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Дополнительная характеристика сейсмических свойств грунтов		Расчетная сейсмичность площадки при сейсмичности района, баллы		
		Сейсмическая жесткость $\rho \cdot V_s$ (г/см <sup>3</sup> ·м/с)	Скорость поперечных волн $V_s$ , м/с Отношение скоростей продольных и поперечных волн, $V_p/V_s$	7	8	9

I	<p>Скальные грунты (в том числе вечно мерзлые и вечномерзлые оттаявшие) невыветрелые и слабовыветрелые; крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; выветрелые и сильновыветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2° С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии);</p>	>1500	>700 1,7-2,2	6	7	8
---	---	-------	-----------------	---	---	---

II	<p>Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории, пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции <math>I_L \leq 0,5</math> при коэффициенте пористости <math>e &lt; 0,9</math> для глин и суглинков и <math>e &lt; 0,7</math> – для супесей; вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус <math>2^\circ \text{C}</math> при строительстве и эксплуатации по принципу I.</p>	350-1500	<p>250-700 1,7-2,2 (не водонасыщенные) 2,2-3,5 (водонасыщенные)</p>	7	8	9
----	---	----------	---	---	---	---

III	<p>Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции <math>I_L &gt; 0,5</math>; глинистые грунты с показателем консистенции с <math>I_L \leq 0,5</math> при коэффициенте пористости <math>e \geq 0,9</math> – для глин и суглинков и <math>e \geq 0,7</math> – для супесей; вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания).</p>	200-350	150-250 3,5-7	8	9	>9
IV	<p>Наиболее динамически неустойчивые разновидности песчано-глинистых грунтов, указанные в III категории, склонные к разжижению при сейсмических воздействиях</p>	<200	60-150 7-15	8*	9*	>9*
<p>* Грунты с большей вероятностью склонны к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях интенсивностью более 6 баллов</p>						

## **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 или IV 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 вечномёрзлых грунтах по принципу II грунты основания следует рассматривать по фактическому их состоянию после оттаивания.
- 6 При определении сейсмичности площадок строительства транспортных и гидротехнических сооружений следует учитывать дополнительные требования, изложенные в разделах 7 и 8.

## **5 Расчетные нагрузки**

5.1 Расчет конструкций и оснований зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом расчетной сейсмической нагрузки.

При расчете зданий и сооружений на особое сочетание нагрузок значения расчетных нагрузок следует умножать на коэффициенты сочетаний, принимаемые по СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия.

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

При определении расчетной вертикальной сейсмической нагрузки следует учитывать массу моста крана, массу тележки, а также массу груза, равного грузоподъемности крана, с коэффициентом 0,3.

Расчетную горизонтальную сейсмическую нагрузку от массы мостов кранов следует учитывать в направлении, перпендикулярном к оси подкрановых балок. Снижение крановых нагрузок, предусмотренное СП 20.13330.2011, при этом не учитывается.

5.2 При выполнении расчетов сооружений с учетом сейсмических воздействий следует рассматривать две расчетные ситуации.

а) Сейсмические нагрузки соответствуют уровню ПЗ (проектное землетрясение).

Должно быть обеспечено выполнение условий первого предельного состояния (ПС-1) согласно ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.

Расчеты зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок следует выполнять линейно-спектральным методом на нагрузки, определяемые в соответствии с пп. 5.10, 5.12, 5.13.

б) Сейсмические нагрузки соответствуют уровню МРЗ (максимальное расчетное землетрясение).

Должно быть обеспечено выполнение условий особого предельного состояния, т.е. устойчивость сооружения в целом к прогрессирующему обрушению при локальных разрушениях, вызванных землетрясением.

5.3 Расчеты по п. 5.2 (уровень нагрузки, отвечающий ПЗ и МРЗ) следует выполнять для всех зданий и сооружений.

При выполнении расчетов по уровням ПЗ и МРЗ должны приниматься карты сейсмичности района строительства в соответствие с п. 4.3.



5.4 Расчеты, соответствующие МРЗ, следует выполнять линейно-спектральным методом с использованием наихудших для данного сооружения синтезированных акселерограмм из представительного набора (приложение 1).

Расчет производится на акселерограммы по обоим горизонтальным направлениям, совпадающим с главными осями сооружения. Наихудшей следует считать акселерограмму с доминантной частотой, наиболее близкой к низшей частоте поступательной формы по соответствующему горизонтальному направлению.

Максимальные амплитуды ускорений в уровне основания сооружения следует принимать не менее 0,1g, 0,2g и 0,4g при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов, соответственно.

При наличии акселерограммы, полученной для рассматриваемой площадки, следует принять ее в качестве расчетной.

5.5 При расчетах на уровень МРЗ принимаются нормативные нагрузки и нормативные значения прочности материалов. Расчетную сейсмическую нагрузку определяют по формуле (1) пп. 5.10, 5.12, 5.13.

5.6 При расчетах на уровень МРЗ должно быть обеспечено выполнение условий первого предельного состояния (ПС-1) согласно ГОСТ Р 54257-2010. Сооружение должно быть устойчиво к лавинообразному (прогрессирующему) обрушению при возможных локальных разрушениях, вызванных сейсмическим воздействием.

Для этого рассматриваются следующие сценарии локальных сейсмических разрушений:

- разрушение одной наиболее нагруженной колонны;
- разрушение наиболее нагруженного пилона или стены длиной 6м;
- разрушение одного наиболее нагруженного ригеля.

Сценарии локальных сейсмических разрушений выбираются на основе анализа результатов расчета на уровень МРЗ по п. 5.4.

5.7 Расчет на прогрессирующее обрушение при локальных сейсмических разрушениях допускается выполнять линейно-упругими методами по методике, используемой при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению при локальных разрушениях, вызванных аварийными воздействиями.

5.8 Сейсмостойкость сооружения по критерию необрушения (особое предельное состояние) обеспечивается выполнением пп. 5.4-5.7.

5.9 Для зданий и сооружений:

с балками, арками, фермами, пространственными покрытиями пролетами 24 м и более;  
с горизонтальными и наклонными консольными конструкциями с вылетом 3 м и более;  
необходимо дополнительно выполнять расчеты на вертикальную сейсмическую нагрузку, соответствующую расчетным ситуациям ПЗ и МРЗ.

При этом значение вертикальной сейсмической нагрузки следует умножать на 0,75.

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

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

Расчетная сейсмическая нагрузка  $S_{ik}^j$  по направлению обобщенной координаты с номером  $j$ , приложенная к узловой точке  $k$  РДМ и соответствующая  $i$ -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, определяется по формуле

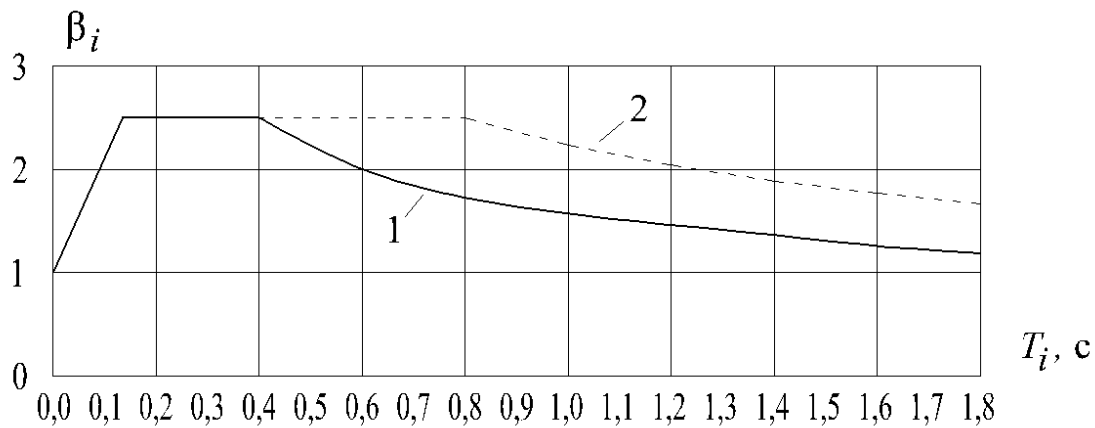
$$S_{ik}^j = Q_k^j A \beta_i K_{\psi} n_{ik}^j \quad (1)$$

где  $Q_k^j$  – вес здания или сооружения, отнесенный к точке  $k$  по обобщенной координате  $j$ , определяемый согласно п.5.1;  $A$  – коэффициент, принимаемый равным 0,1; 0,2; 0,4 для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов, соответственно;  $\beta_i$  – коэффициент динамичности, соответствующий  $i$ -й форме собственных колебаний зданий или сооружений, принимаемый в соответствии с п.5.11;  $K_\psi$  – коэффициент, принимаемый по таблице 4;  $\eta_{ik}^j$  – коэффициент, зависящий от  $i$ -ой формы собственных колебаний здания или сооружения, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия, определяемый по п. 5.12.

**Примечание:**

При сейсмичности площадки 8 баллов и более, повышенной только в связи наличием грунтов категорий III и IV, к значению  $S_{ik}^j$  вводится множитель 0,7, учитывающий нелинейное деформирование грунтов при сейсмических воздействиях при отсутствии данных СМР.

5.11 Значения коэффициента динамичности  $\beta_i$  в зависимости от расчетного периода собственных колебаний  $T_i$  здания или сооружения по  $i$ -й форме при определении сейсмических нагрузок следует принимать по формулам (2) и (3) или, согласно, рисунку 1.



**Рисунок 1**

Для грунтов категории I по сейсмическим свойствам (кривая 1) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1+15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,4 / T_i)^{0,5} \end{aligned} \tag{2}$$

Для грунтов категорий II, III и IV по сейсмическим свойствам (кривая 2) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1+15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,8 / T_i)^{0,5} \end{aligned} \tag{3}$$

Во всех случаях значения  $\beta_i$  должны приниматься не менее 0,8.

5.12 Для зданий и сооружений, рассчитываемых по пространственной РДМ, значение  $\eta_{ik}^j$  при сейсмическом воздействии следует определять по формуле

$$\eta_{ki}^j = \frac{X_i(z_k) \sum_{j=1}^n Q_j X_i(z_j) \cos(X_{k,i}, \ddot{x}_0)}{\sum_{j=1}^n Q_j X_i^2(z_j)} \tag{4}$$

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  $\ddot{x}_0$ .

Таблица 4 – Коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии

Характеристика зданий и сооружений	$K_{\psi}$
1 Высокие сооружения небольших размеров в плане (башни, мачты, дымовые трубы, отдельно стоящие шахты лифтов и т.п.)	1,5
2 Каркасные бесшарнирные здания, стеновое заполнение которых не оказывает влияния на их деформируемость	1,3
3 Здания и сооружения, не указанные в 1-2, кроме гидротехнических сооружений	1

5.13 Расчетные значения внутренних усилий  $N_p$  в конструкциях от сейсмической нагрузки при условии статического действия ее на сооружение, следует определять по формуле

$$N_p = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2}, \quad (5)$$

где  $N_i$  – значение внутреннего усилия, вызываемого сейсмическими нагрузками, соответствующими  $i$ -й форме колебаний;  $n$  – число учитываемых в расчете форм колебаний.

При определении внутренних усилий, рассматривается наихудшее сочетание знака в формуле (5).

5.14 При расчете конструкций на прочность и устойчивость, помимо коэффициентов условий работы, принимаемых в соответствии с другими действующими нормативными документами, следует вводить дополнительно коэффициент условий работы  $m_{tr}$ , определяемый по таблице 5. На коэффициент  $m_{tr}$  умножают расчетное сопротивление соответствующего материала конструкции.

Таблица 5 – Коэффициент условий работы

Характеристика конструкций	Значения $m_{tr}$
<b>При расчетах на прочность</b>	
1 Стальные, деревянные, железобетонные с жесткой арматурой	1,3
2 Железобетонные со стержневой и проволочной арматурой, кроме проверки на прочность наклонных сечений	1,2
3 Железобетонные при проверке на прочность наклонных сечений	
4 Каменные, армокаменные и бетонные при расчете: на внецентренное сжатие	1,0
на сдвиг и растяжение	
5 Сварные соединения	1,0
6 Болтовые и заклепочные соединения	0,8
<b>При расчетах на устойчивость</b>	
7 Стальные элементы гибкостью свыше 100	1,1
8 Стальные элементы гибкостью до 20	
9 Стальные элементы гибкостью от 20 до 100	
	1,0
	1,2
	От 1,2 до 1,0 по интерполяции

**Примечание:**

При расчете стальных и железобетонных конструкций, подлежащих эксплуатации в неотопливаемых помещениях или на открытом воздухе при расчетной температуре ниже минус 40°C, следует принимать  $m_{tr} = 0,9$ , в случае проверки прочности наклонных сечений  $m_{tr} = 0,8$ .

## 2. ДВУХУРОВНЕВЫЙ РАСЧЕТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕЙСМОСТОЙКИХ СООРУЖЕНИЙ

Инженерный анализ последствий сильных землетрясений, произошедших в период действия СНиП II-7-81\*, свидетельствует о том, что действующие нормы не всегда обеспечивают сейсмостойкость зданий и сооружений, выполненных в полном соответствии с проектом. В ряде случаев, когда уровень сейсмического воздействия был близок к прогнозируемому или несколько превышал его, надежность некоторых зданий обеспечивалась не в полной мере.

Это связано со следующими обстоятельствами.

В действующих нормах нелинейность учитывается путем введения лишь одного интегрального коэффициента редукции<sup>1</sup> в линейно-спектральном методе.

Расчет ведется фактически в детерминированной постановке. Сейсмическое воздействие является ярко выраженным случайным процессом и применение детерминированных подходов в любом случае приводит к неопределенной сейсмостойкости запроектированных зданий и сооружений.

Обеспечение требуемого уровня сейсмостойкости возможно только с привлечением методов теории вероятностей, теории случайных процессов и теории надежности строительных конструкций.

В настоящее время назрела необходимость внедрения новой концепции сейсмостойкости зданий и сооружений, основные положения которой разработаны в МГСУ и широко обсуждались научной общественностью на различных площадках<sup>2</sup>.

Основная особенность данной концепции заключается в проектировании зданий и сооружений с заданной обеспеченностью уровня сейсмостойкости. Причем нелинейный характер работы конструкций учитывается в явном виде при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В течение последних десятилетий ученые в своих публикациях, докладах на различных форумах высказывают идею о целесообразности перехода от одно- к двухуровневому расчету. Эта идея основана на признании вероятностной природы землетрясений, интенсивность которых зависит (по физическим причинам) от их частоты (повторяемости). То есть при относительно слабых землетрясениях, которые случаются чаще, не следует допускать никаких разрушений, наоборот, при сильных, но редких землетрясениях, целесообразно планировать локальные разрушения без глобальных обрушений, опасных для жизни и здоровья людей.

Средняя повторяемость землетрясений данной интенсивности для определенного района определяется по картам общего сейсмического районирования (ОСР) [3] (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Средняя повторяемость землетрясений по картам

### Общего сейсмического районирования (ОСР-2012)

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
--	---------------------------

<sup>1</sup> В СНиП II-7-81\* используется величина, обратная коэффициенту редукции – коэффициент учета допускаемых повреждений  $K_1$ .

<sup>2</sup> на Объединенных научно-практических семинарах «Надежность и безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях» в МГСУ и РУДН (см. сайт научно-исследовательской лаборатории «Надежность и сейсмостойкость сооружений» НИУ МГСУ <http://seismostroy.ru>);

- на заседаниях Научного Совета РААСН по сейсмологии и сейсмостойкому строительству;

- на сайте НИУ МГСУ [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru) опубликован Стандарт организации СТО НИУ МГСУ 2015 «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения» [1, 2].

ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 E	5000
ОСР-2012 F	10000

В Европе [4, 5] и во многих других странах принято рассчитывать сооружения на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 50 лет. Иными словами в большинстве стран Евросоюза<sup>3</sup>, США, Канады, Японии и др., период повторяемости для МРЗ, принимается  $T_{\text{МРЗ}} = 475$  лет.

В то же время конструкция здания или сооружения должна быть запроектирована таким образом, чтобы выдержать сейсмическое воздействие, имеющее более высокую вероятность возникновения, чем МРЗ, называемое проектным землетрясением (ПЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 10 лет. Период повторяемости ПЗ  $T_{\text{ПЗ}} = 95$  лет<sup>4</sup>.

Ниже приводится предлагаемый нами подход, который представляется наиболее обоснованным.

### **Проектное землетрясение**

В течение срока службы (50 - 100 лет для большинства промышленных и гражданских зданий и сооружений) на данной строительной площадке с вероятностью, близкой к 1, следует ожидать «частое» землетрясение.

Из этого следует, что сейсмическая нагрузка данной интенсивности с периодом повторяемости, раз в 100 лет, стоит в одном ряду, например, с максимальными пиковыми значениями снеговой и ветровой нагрузок, которые имеют близкие периоды повторяемости. Поэтому принципы назначения сейсмических нагрузок на здания и сооружения должны быть такими же, как для снеговой и ветровой нагрузок.

Предлагается выполнять расчеты на данную интенсивность сейсмического воздействия по I группе предельных состояний без учета коэффициента редукции (фактически принимая  $K_1 = 1$ ), как это делается для эксплуатационных<sup>5</sup> нагрузок.

Выполнение расчетов при сейсмических воздействиях по II группе предельных состояний с требованием сохранения эксплуатационных свойств сооружения является нецелесообразным. После каждого землетрясения в любом случае необходимо проводить обследование состояние несущих конструкций сооружения.

Так как условия I группы предельных состояний предполагают в основном упругое поведения конструкций, то вполне приемлемым методом расчета может быть линейно-спектральный метод.

### **Максимальное расчетное землетрясение**

В течение срока службы сооружения на данной строительной площадке с определенной вероятностью, следует ожидать «редкое» землетрясение с некоторым обоснованно назначенным периодом повторяемости. Здания и сооружения должны перенести землетрясения данной интенсивности без местного и общего обрушения несущих конструкций.

Период повторяемости максимального расчетного землетрясения может быть назначен по следующим соображениям.

<sup>3</sup> В Великобритании принято  $T_{\text{МРЗ}} = 2500$  лет.

<sup>4</sup> В японских нормах  $T_{\text{ПЗ}} = 30 - 50$  лет [6].

<sup>5</sup> Ветровой, снеговой и др.

В теории надежности определяется фоновая вероятность наступления неблагоприятного события для человека в течение года (значительный ущерб здоровью, летальный исход). Данная вероятность составляет порядка  $3000 \cdot 10^{-7}$  чел/год (табл.2.2) [7].

Таблица 2.2 – **Вероятность летального исхода для человека в год**

Условия и вид деятельности	$10^{-7}$ чел/год
Аварии автомашин	2700
Огонь и взрывы	400
Водоемы	280
Обращение с механизмами	100
Воздушное сообщение	75
Электричество	51
Молния	5,5
Общественный транспорт	0,45
Радиоактивное излучение	0,05

Примем данную вероятность летального исхода в качестве нормативной предельно допустимой, т.е.  $[P_{ли}] = 3 \cdot 10^{-4}$  чел/год.

Тогда проектирование должно вестись из условия, что

$$P_1 \leq [P_{ли}], \quad (2.1)$$

где  $P_1$  - вероятность летального исхода для человека в год при максимальном расчетном землетрясении для данного района строительства и данного типа сооружения.

Определим вероятность  $P_1$  при исходном среднем периоде повторяемости максимального расчетного землетрясения  $T_{МРЗ} = 500$  лет.

Вероятность того, что на данной строительной площадке произойдет максимальное расчетное землетрясение в течение 1 года, равна:

$$P_{год} = \frac{1}{500} = 0,002. \quad (2.2)$$

По результатам масштабного анализа последствий сильных землетрясений [8], проведенного на основании обобщения опыта работы МЧС РФ, приемлемая вероятность обрушения сооружения  $P_{обр}$  при катастрофическом землетрясении (уровня МРЗ), может быть принята равной 0,1:

$$P_{обр} = 0,1. \quad (2.3)$$

Вероятность нахождения человека в здании составляет, ориентировочно,  $P_{зд} = 0,6$ , а вероятность того, что он пострадает при условии обрушения здания –  $P_{пострад} = 0,8$ .

Тогда вероятность летального исхода для человека в год при МРЗ будет равна:

$$P_1 = P_{год} \cdot P_{обр} \cdot P_{зд} \cdot P_{пострад} = 0,002 \cdot 0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 96 \cdot 10^{-6} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (2.4)$$

Таким образом,

$$P_1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год} < [P_{ли}] = 3 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (2.5)$$

Иными словами, если принять средний период повторяемости  $T_{МРЗ} = 500$  лет и вероятность обрушения сооружения при максимальном расчетном землетрясении равной 0,1, то вероятность летального исхода для человека в год будет близка к фоновой и не будет ее превышать.

#### **Расчет на уровень воздействия МРЗ**

Расчеты на МРЗ должны выполняться на особые предельные состояния. Так как исследуются состояния сооружения, близкие к предельным, с возникновением существенных неупругих пластических деформаций, то нелинейный характер работы конструкций должен учитываться явным способом. Это возможно только при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В настоящее время использование этих методов возможно при расчете уникальных зданий и сооружений, для которых предусмотрено научно-техническое сопровождение, которое выполняется организациями, обладающими соответствующими компетенциями.

Для зданий и сооружений массового строительства, проектирование которых выполняется обычными проектными организациями, возможен следующий подход при расчете на МРЗ.

По результатам расчета на землетрясение интенсивности МРЗ выявляются наиболее нагруженные элементы. Расчеты на уровень МРЗ выполняются с учетом выключения этих элементов из расчетной схемы подобно тому, как это делается при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Этот метод большинством проектировщиков благополучно освоен.

Следует отметить, что в данном случае расчет на МРЗ – это и есть расчет на прогрессирующее обрушение при исходных сейсмических нагрузках и соответствующих сценариях локальных разрушений. Если в сооружении не реализуется прогрессирующее обрушение, то следует считать критерий необрушения выполненным.

Данный подход обеспечит необходимый уровень сейсмостойкости и безопасности для зданий и сооружений, строящихся в сейсмических районах.

#### **Литература к главе 2**

1. СТО НИУ МГСУ 2015. Стандарт организации. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения. – М.: МГСУ, 2015. – 37 с.

2. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.

3. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с. Интернет-ресурс: <http://seismos-u.ifz.ru/zoning.htm>.

4. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. – Brussels – 2003. – 229 p.

5. Фардис М., Гульванесян Х. и др. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений /научный редактор пер. с англ. Г.А. Джинчвелашвили. – М.: МГСУ, 2013. – 484 с.

6. Marino Edoardo M., Nakashima Masayoshi, Mosalam Khalid M. Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures // Engineering Structures 27 (2005) 827–840 pp.

7. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. Перевод с английского. М. Стройиздат, 1988. - 584с.

8. Шахраманьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения : (Теория и практика). — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ВИИ ГОЧС, 2000. — 189 с.

**3. СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ «СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ. РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ –  
СТО НИУ МГСУ – 2015». НОРМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

---

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

---

УТВЕРЖДАЮ:  
Ректор МГСУ  
А.А. Волков

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**  
**Расчетные положения**

**СТО МГСУ 2015**

Москва – 2015 г.



## СТО МГСУ 2015

### 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 Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

### СОДЕРЖАНИЕ

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

### ВВЕДЕНИЕ

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

В проект СТО МГСУ включены положения, основанные на новой концепции сейсмостойкости зданий и сооружений, основы которой разработаны в МГСУ.

Основная особенность данной концепции заключается в том, что нелинейный характер работы конструкций учитывается в явном виде при использовании нелинейного статического и динамического методов. В то время как в действующих нормах нелинейность учитывается путем введения лишь одного интегрального коэффициента редукции в линейно-спектральном методе. При этом в основу СТО МГСУ положена концепция проектирования зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости.

Действительно, сейсмическое воздействие является ярко выраженным случайным процессом и применение детерминированных подходов в любом случае приводит к неопределенной сейсмостойкости запроектированных зданий и сооружений. Обеспечение

требуемого уровня сейсмостойкости возможно только с привлечением методов теории вероятностей, теории случайных функций, теории случайных процессов и теории надежности строительных конструкций.

СТО МГСУ является нормативным документом нового поколения, который включает проектирование сейсмостойких конструкций с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости. Применение настоящего Стандарта предусматривает обеспечение сохранности конструкций, выход из строя которых угрожает обрушением здания или его частей. При этом возможны повреждения элементов конструкций, не угрожающие безопасности людей и не приводящие к утрате материальных и культурных ценностей.

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

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

**Стандарт организации**  
**НИУ Московский государственный строительный университет**  
**(СТО 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 14.13330.2014. 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 аналоговая** - акселерограмма, зарегистрированная при реальном землетрясении и принятая в качестве аналога для расчета на сейсмостойкость, с учетом ее соответствия сейсмотектоническим и грунтовым условиям площадки.

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

**Вероятностный анализ сейсмической опасности (ВАСО)** - вероятностный метод, сочетающий альтернативные модели очагов, периоды повторяемости и зависимости затухания сильного движения, а также явные и случайные неопределенности в вероятностной модели сейсмической опасности для получения вероятности превышения конкретного уровня движения грунта.

**Величина сейсмической нагрузки** – в большинстве случаев определяется с помощью анализа сейсмостойкости и зависит от:

- интенсивности, продолжительности и частотных характеристик ожидаемого землетрясения;
- геологических условий площадки строительства;
- динамических параметров сооружения.

**Движение свободной поверхности площадки** - движение, происходящее непосредственно на земной поверхности или вблизи поверхности на конкретной площадке при отсутствии сооружения (строительного объекта). Определяется по анализу реакции площадки.

**Запись землетрясения** - запись ускорения, скорости или смещения при землетрясении в функции времени. Может быть инструментальной или синтезированной.

**Интенсивность землетрясения, интенсивность** - сейсмический эффект, оцениваемый в баллах по макроскопической описательной шкале интенсивности сотрясений земной поверхности, основанной на реакции людей, строительных объектов и на изменениях природных объектов. Сейсмический эффект определяется в основном тремя параметрами: уровнем амплитуд, преобладающим периодом и продолжительностью колебаний. Последний фактор может оказаться решающим для нарушения устойчивости сооружений, для которых кратковременная нагрузка даже с весьма высокой амплитудой (ускорением) может быть неопасной. В Российской Федерации используется сейсмическая шкала MSK-64. Максимальное значение интенсивности в этой шкале, как и в большинстве других аналогичных шкал, составляет 12 баллов. Более современной шкалой сейсмической интенсивности является 12-балльная Европейская макросейсмическая шкала - EMS-98. Инженеры-строители при проектировании зданий и сооружений обычно учитывают информацию об интенсивности, начиная с 7 баллов или выше. Сейсмический эффект, наблюдаемый в том или ином пункте, зависит как от величины (магнитуды) землетрясения, так и от удаленности и глубины залегания сейсмического очага, от спектральных характеристик сейсмических волн, а также от местных геологических особенностей в этом пункте.

**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) (HCM)** – 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 (MPЗ)** – землетрясение с максимальной интенсивностью на площадке строительства с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-97А). Максимальная расчетная интенсивность сейсмических воздействий, выраженная в баллах, вероятные макросейсмические последствия которой могут оказаться значительными, вызвать существенные повреждения и/или частичную потерю устойчивости сооружения.

**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 MPЗ. Максимальная интенсивность сейсмических воздействий, выраженная в баллах, которая с большой вероятностью может возникнуть в течение срока службы строительного объекта, но не причинить ему каких-либо существенных повреждений и не привести к остановке его функционирования.

**Расчетный спектр реакции грунта** - расширенный и сглаженный спектр реакции движения свободной площадки, обычно получаемый путем анализа, оценки и статистического комбинирования ряда отдельных спектров реакции, полученных по записям движения грунта при землетрясениях.

**Сейсмическое микрорайонирование** - оценка сейсмической опасности, при которой учитывается влияние местных грунтовых условий на интенсивность сейсмических колебаний на поверхности Земли и определяются поправки, уменьшающие или увеличивающие сейсмичность района, задаваемую картами общего или детального сейсмического районирования.

**Сейсмостойкое строительство** - строительство, осуществляемое в соответствии с официально принятыми картами сейсмического районирования и утвержденными нормами и правилами, которые содержат спецификацию строительных материалов, методов строительства и рекомендации по техническому проектированию в целях сейсмической безопасности.

**Сейсмичность площадки строительства  $I_{пл}$**  – интенсивность возможных сейсмических воздействий ПЗ и MPЗ 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  $\gamma_n$ . Численные значения  $\gamma_n$  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. Сейсмичность района строительства в зависимости от уровня ответственности здания или сооружения<sup>6</sup> задается на основании карты ОСР-2012 В.

В картах Общего сейсмического районирования (ОСР-2012) приводятся данные об интенсивности землетрясений на территории Российской Федерации (табл.4.2):

Таблица 4.2 – Обзор карт общего сейсмического районирования

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 Е	5000
ОСР-2012 F	10000

Сейсмическими районами считаются районы, для которых интенсивность землетрясений по карте ОСР-2012 В не меньше 7 баллов. Действие Стандарта распространяется на проектирование в сейсмических районах сейсмичностью до 9 баллов включительно. Проектирование производится для площадок с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов.

За проектное землетрясение (ПЗ) в СТО МГСУ принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясения максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 100 лет (карта ОСР-2012 А).

За максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) в настоящем документе принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясение максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-2012 В).

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.4.3.

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.

<sup>6</sup> в соответствии с ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: 1 – повышенный; 2 – нормальный; 3 – пониженный.

Таблица 4.3 – 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 $I$ , балл
		Сейсмическая жесткость $\rho \cdot V_s$ (г/см <sup>3</sup> ·м/с)	Скорость попереч. волн $V_s$ , м/с; Отношение скоростей прод. и попер. волн, $V_p/V_s$	
1	2	3	4	5
I	Скальные грунты (в том числе вечно мерзлые и вечномерзлые оттаявшие) неветрелые и слабоветрелые; крупнообломочные грунты плотные, маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; ветрелые и сильноветрелые скальные и дисперсные твердомерзлые (многолетнемерзлые) грунты при температуре минус 2° С и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии);	>1500	>700 1,7-2,2	$I_{пл} = I - 1$



II	<p>Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории, пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции <math>I_L \leq 0,5</math> при коэффициенте пористости <math>e &lt; 0,9</math> для глин и суглинков и <math>e &lt; 0,7</math> – для супесей; вечномерзлые не скальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2° С при строительстве и эксплуатации по принципу I.</p>	350-1500	<p>250-700 1,7-2,2 (не водонасыщенные) 2,2-3,5 (водонасыщенные)</p>	$I_{пл} = I$
III	<p>Пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные и средней плотности водонасыщенные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции <math>I_L &gt; 0,5</math>; глинистые грунты с показателем консистенции с <math>I_L \leq 0,5</math> при коэффициенте пористости <math>e \geq 0,9</math> – для глин и суглинков и <math>e \geq 0,7</math> – для супесей; вечномерзлые дисперсные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивание грунтов основания).</p>	<p>200-350</p> <p>&lt;200*</p>	<p>150-250 3,5-7</p> <p>60-150* 7-15*</p>	$I_{пл} = I + 1$
<p>* Грунты с большой вероятностью склонные к разжижению и потере несущей способности при землетрясениях интенсивностью 7 и более баллов</p>				

**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-2012 с уточнением по результатам СМР или согласно табл.4.3.

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.5.1):

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.5.1 типы расчетов на сейсмические воздействия.

Таблица 5.1 – 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 расчета на сейсмические воздействия и их применение

### 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  $k_{\psi}$  – коэффициент, учитывающий диссипативные характеристики конструктивной системы, принимаемый согласно табл.5.2;  $S_{k,i}^0$  – 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.5.3 в зависимости от сейсмичности площадки строительства  $I_{пл}$ ;  $\beta_i$  – 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 5.2 – Значения коэффициента  $k_{\psi}$

Материал конструкции	Логарифмический декремент колебаний $\delta$	Параметр затухания $\xi$ , в % от критического	Значения коэффициента $k_{\psi}$
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  $\xi$  допускается определение коэффициента  $k_{\psi}$  по формуле:  $k_{\psi} = \frac{10}{5 + \xi}$

Таблица 5.3 – Максимальное ускорение грунта основания *A*

Номер сочетания	Интенсивность на картах, баллы шкалы сейсмической интенсивности по карте ОСР-2012		Максимальное ускорение грунта основания <i>A</i> , в долях <i>g</i>
	ОСР-2012-А	ОСР-2012-В	
1	6	7	0,08
2	7	7	0,10
3	7	8	0,15
4	8	8	0,20
5	8	9	0,30
6	9	9	0,40

**Примечание:**

Указанные в таблице баллы сейсмической интенсивности должны быть определены с учетом результатов сейсмического микрорайонирования (СМР) площадки строительства

5.2.3. Значения коэффициента динамичности  $\beta_i$  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:

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

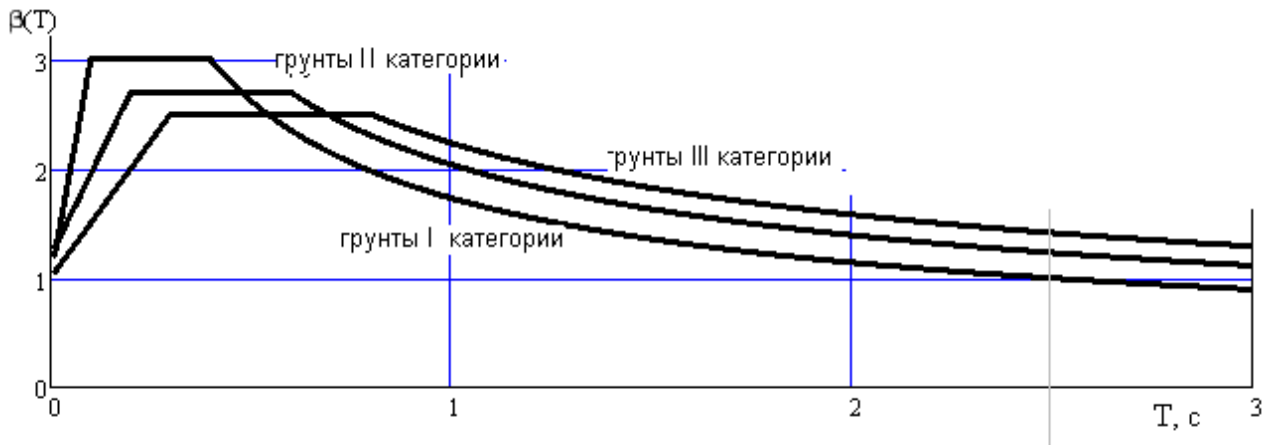
Для грунтов II категории:

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

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  $\beta_i$  должны приниматься не менее 0,8.



**Рис.5.1 Спектральная кривая коэффициента динамичности  $\beta_i$**

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;

$\rho_{ij}$  – коэффициент корреляции, определяемый по формуле 5.8:

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

где  $r = \omega_j / \omega_i$  ( $i < j$ );  $\xi$  – выбирается по таблице 5.2

#### **4. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К СТАНДАРТУ ОРГАНИЗАЦИИ «СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ – СТО НИУ МГСУ – 2015»**

Инженерный анализ последствий сильных землетрясений, произошедших в период действия СНиП II-7-81\*, свидетельствует о том, что действующие нормы не всегда обеспечивают сейсмостойкость зданий и сооружений, выполненных в полном соответствии с проектом. В ряде случаев, когда уровень сейсмического воздействия был близок к прогнозируемому или несколько превышал его, надежность некоторых зданий обеспечивалась не в полной мере.

В проект СТО МГСУ включены положения, основанные на новой концепции сейсмостойкости зданий и сооружений, основы которой разработаны в МГСУ.

Основная особенность данной концепции заключается в том, что нелинейный характер работы конструкций учитывается в явном виде при использовании нелинейного статического и динамического методов. В то время как в действующих нормах нелинейность учитывается путем введения лишь одного интегрального коэффициента редукиции в линейно-спектральном методе. При этом в основу СТО МГСУ положена концепция проектирования зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости.

Действительно, сейсмическое воздействие является ярко выраженным случайным процессом и применение детерминированных подходов в любом случае приводит к неопределенной сейсмостойкости запроектированных зданий и сооружений. Обеспечение требуемого уровня сейсмостойкости возможно только с привлечением методов теории

вероятностей, теории случайных функций, теории случайных процессов и теории надежности строительных конструкций.

СТО МГСУ является нормативным документом нового поколения, который включает проектирование сейсмостойких конструкций с заданным уровнем обеспечения сейсмостойкости. Применение настоящего Стандарта предусматривает обеспечение сохранности конструкций, выход из строя которых угрожает обрушением здания или его частей. При этом возможны повреждения элементов конструкций, не угрожающие безопасности людей и не приводящие к утрате материальных и культурных ценностей.

**Основные положения СТО МГСУ следующие.**

**1. Строительные объекты должны удовлетворять требованиям следующих предельных состояний<sup>7</sup>:**

**Первая группа предельных состояний** - состояния строительных объектов, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций (ПС-1 – прочностной критерий);

**Особые предельные состояния** - состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях, превышение которых приводит к разрушению зданий и сооружений с катастрофическими последствиями (ОПС – критерий необрушения).

**2. Сейсмичность района строительства в зависимости от уровня ответственности здания или сооружения<sup>8</sup> задается на основании карты ОСР-2012 В.**

В картах Общего сейсмического районирования (ОСР-2012) приводятся данные об интенсивности землетрясений на территории Российской Федерации:

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 Е	5000
ОСР-2012 F	10000

Сейсмическими районами считаются районы, для которых интенсивность землетрясений по карте ОСР-2012 В не меньше 7 баллов. Действие Стандарта распространяется на проектирование в сейсмических районах сейсмичностью до 9 баллов включительно. Проектирование производится для площадок с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов.

За проектное землетрясение (ПЗ) в СТО МГСУ принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясения максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 100 лет (карта ОСР-2012 А).

За максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) в настоящем документе принимается расчетный уровень сейсмических воздействий от землетрясений, вызывающих на площадке строительства сотрясение максимальной интенсивности с периодом повторяемости раз в 500 лет (карта ОСР-2012 В).

Подразумевается, что в течение срока службы здания и сооружения должны воспринимать сейсмические воздействия интенсивностью соответствующие:

- уровню ПЗ, при обязательном выполнении условий 1-й группы предельных состояний (прочностной критерий). Расчеты ведутся без учета коэффициента редукации также, как это делается, например, для ветровой и снеговой нагрузок;

<sup>7</sup> ГОСТ Р 54257 - 2010 Надежность строительных конструкций и основания. Основные положения и требования.- М.: Стандартинформ, 2011. – 19с.

<sup>8</sup> в соответствии с ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: 1 – повышенный; 2 – нормальный; 3 – пониженный.

- уровню МРЗ, без местного и общего обрушения несущих конструкций (критерий необрушения).

### **3. Философия, заложенная в Стандарт, состоит в следующем:**

#### **3.1. Расчет на уровень воздействия ПЗ**

В течение срока службы сооружения (до 100 лет, может больше) на данной строительной площадке с вероятностью, близкой к 1, следует ожидать землетрясение с периодом повторяемости раз в 100 лет (по карте ОСР-2012 А).

Из этого следует, что сейсмическая нагрузка данной интенсивности с периодом повторяемости раз в 100 лет, стоит в одном ряду, например, с максимальными значениями снеговой и ветровой нагрузок, которые имеют близкие периоды повторяемости.

Принципы назначения сейсмических нагрузок на сооружения и порядок выполнения расчетов, должны быть такими же, как для снеговой и ветровой нагрузок. В СТО МГСУ предлагается выполнять расчеты на данную интенсивность сейсмического воздействия по I группе предельных состояний без учета коэффициента редукации, как это делается для эксплуатационных<sup>9</sup> нагрузок.

Сейсмическая нагрузка является более неопределенной по сравнению с этими временными нагрузками. Поэтому выполнение расчетов при сейсмических воздействиях по II группе предельных состояний с требованием сохранения эксплуатационных свойств сооружения является нецелесообразной. После каждого землетрясения в любом случае необходимо проводить обследование состояние несущих конструкций сооружения.

Так как условия I группы предельных состояний предполагают в основном упругое поведения конструкций, то вполне приемлемым методом расчета может быть линейно-спектральный метод.

#### **3.2. Расчет на уровень воздействия МРЗ**

В течение срока службы сооружения на данной строительной площадке с определенной вероятностью следует ожидать землетрясения с периодом повторяемости раз в 500 лет (по карте ОСР-2012 В). Здания и сооружения должны перенести землетрясения данной интенсивности без местного и общего обрушения несущих конструкций.

Расчеты должны выполняться на особые предельные состояния. Так как исследуются состояния сооружения, близкие к предельным, с возникновением существенных неупругих пластических деформаций, то нелинейный характер работы конструкций должны учитываться явным способом. Это возможно только при использовании нелинейного статического и динамического методов.

### **4. Методы расчета сооружений на сейсмические воздействия**

В действующих нормах предлагается два основных метода расчета: спектральный метод и прямой динамический методы.

В настоящем Стандарте предлагается использовать линейно-спектральный, нелинейный статический и нелинейный динамический методы.

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

**4.2. 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.

---

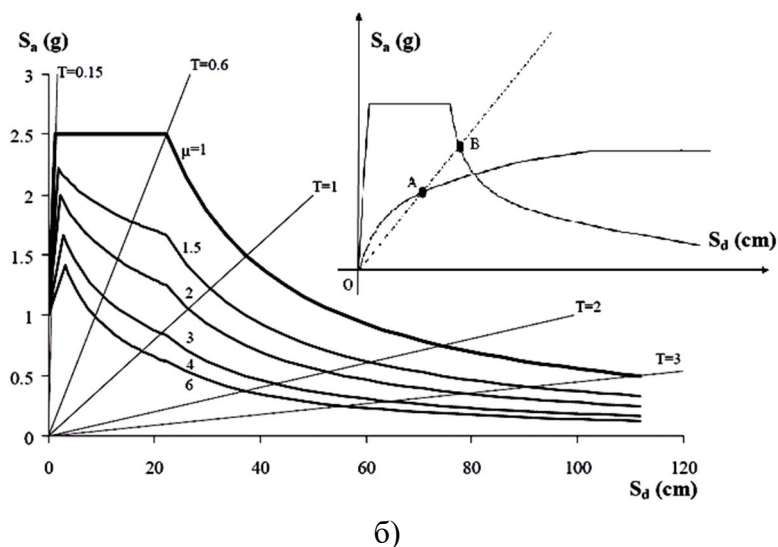
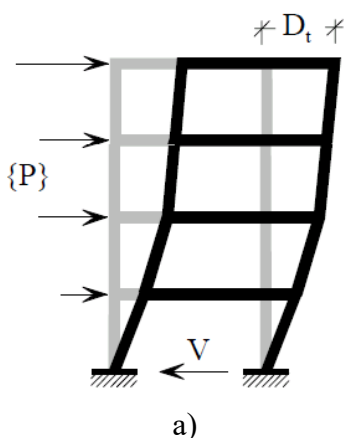
<sup>9</sup> Ветровой и снеговой и др.

НСМ, с одной стороны является инженерным, с другой, позволяет в той или иной степени учесть нелинейные свойства конструкций не в виде коэффициента к инерционным силам (как это сделано в спектральном методе), а непосредственно из запасов сооружения.

Данная методика позволяет оценить поведение конструкции при сейсмических воздействиях за пределом упругости. Этот метод связывает несущую способность, представленную как кривую равновесного состояния, с сейсмическим требованием, представленным в виде спектра реакции. Вычисляется точка пересечения кривых несущей способности и спектра реакции - динамического равновесия, по которой определяется ожидаемое поведение конструкции (рис. 1).

Нелинейный статический метод расчета рекомендуется применять в следующих случаях:

- в качестве альтернативы прямому динамическому методу с использованием пакета акселерограмм, в связи с возможными сложностями и громоздкостью таких расчетов, а также ввиду значительной неопределенности исходных данных;
- при проектировании зданий и сооружений с использованием методологии, основанной на изучении состояния конструкций при различных уровнях сейсмического воздействия;
- при оценке и восстановлении сейсмостойкости эксплуатирующихся зданий и сооружений с учетом их фактического технического состояния (имеющихся дефектов, повреждений и т.п.).





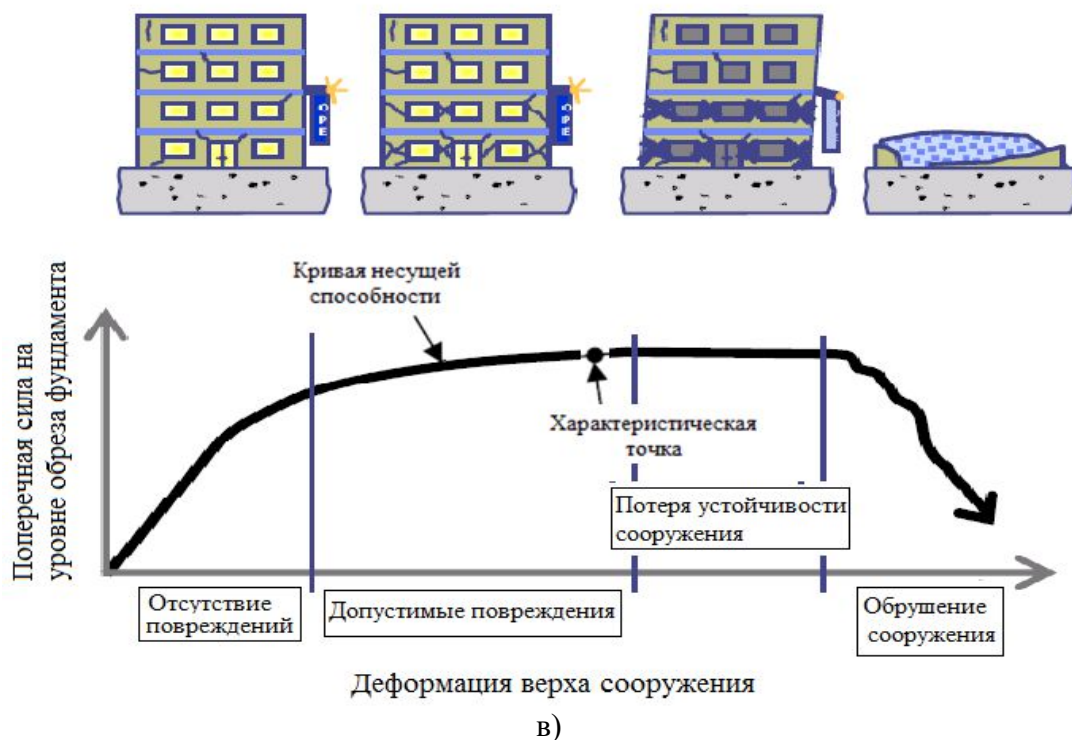


Рис.1. Нелинейный статический метод (Pushover analysis):

а) распределение поперечных сейсмических сил; б) неупругий спектр ускорений ( $S_a$ ) в функции спектра перемещений ( $S_d$ ) в AD формате; в) схематическое изображение уровней сейсмостойкости сооружения.

НСМ является инструментом оценки несущей способности конструкций. Он предусматривает монотонное нагружение нелинейной многомассовой системы набором распределенных сейсмических горизонтальных сил до достижения определенных границ перемещений в выбранном уровне. Многомассовая система может быть нагружена вплоть до разрушения с целью оценки ее конечных деформаций и несущей способности.

НСМ представляет собой первый этап двухэтапной процедуры, в результате которой получают кривую (спектр) несущей способности многомассовой системы, который представляет отношение сдвига основания при сейсмическом воздействии к горизонтальной реакции (перемещению) здания. Этот спектр строится в координатах «спектральное ускорение - спектральное перемещение» с использованием отношений «восстанавливающая сила – перемещение» для каждого уровня по высоте здания.

Полученный спектр несущей способности используется для определения перемещений эквивалентной одномассовой системы при конкретном сейсмическом воздействии путем нелинейного динамического расчета одномассового осциллятора.

Таким образом, заменяя многомассовую систему на эквивалентную одномассовую, избегают применения нелинейного динамического метода для расчета исходной системы.

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

**Нелинейный динамический метод** при расчете зданий и сооружений выполняется с использованием акселерограмм (инструментальных записей ускорений грунта при землетрясениях или набора синтезированных акселерограмм).

Расчетные акселерограммы должны максимально полно моделировать сейсмические колебания свободной поверхности грунта при землетрясениях из близких и удаленных сейсмоактивных зон, с учетом особенностей излучения из очага, закономерностей затухания

сейсмических колебаний с расстоянием и резонансных свойств грунта на строительной (эксплуатационной) площадке.

При проектировании зданий и сооружений, указанных в таблице 5.2, в прямых динамических расчетах допускается использование синтезированных акселерограмм, построенных с учетом условий строительной площадки и ее положения, относительно опасных сейсмогенных зон. При отсутствии инструментальных записей, для генерации акселерограмм могут использоваться расчетные методы и данные о приращении сейсмической балльности за счет влияния местных грунтовых условий строительной площадки, полученные при проведении ее сейсмического микрорайонирования.

При прямых динамических расчетах системы «основание – фундамент - надземная часть здания (сооружения)» учитываются не только нелинейные свойства деформирования несущих конструкций, но и особенности нелинейного деформирования грунтов и инерционные свойства грунтового основания.

Расчет конструкций должен как можно более достоверно отображать действительные условия работы объекта и его напряженно-деформированное состояние путем учета соответствующих расчетных ситуаций.

Расчет выполняется на основании расчетной модели, которая должна учитывать факторы, имеющие существенное влияние на напряженное и деформированное состояние конструкций. При формировании расчетной модели, как правило, целесообразно учитывать нелинейные эффекты (геометрическую и физическую нелинейность элементов и системы в целом, влияние деформаций несущих конструкций, на изменение значений действующих на нее нагрузок и тому подобное).

Требования и рекомендации по выбору расчетных моделей устанавливаются в нормах проектирования, и в нормах, регламентирующих нагрузки и влияния. Этими же нормами могут быть определены также возможные конструктивные решения, обеспечивающие реализацию определенных расчетных предпосылок.

Конструкции, для которых нормами проектирования не устанавливаются обязательные требования по использованию нелинейных расчетных моделей, рассчитываются в допущении линейной зависимости нагружающих эффектов от параметров, пропорционально которым изменяется величина нагрузки. При этом проверка несущей способности поперечных сечений элементов может выполняться с учетом нелинейных свойств материала.

## **5. Применяемые методы расчета сооружений в зависимости от сложности конструктивной схемы**

Соответствующие методы расчета должны соотноситься со сложностью конструктивной схемы сооружения, а не со степенью его ответственности. Если сооружение является простым, то вполне достаточно исследовать его простыми методами. Например, высоковольтные мачты с повышенным уровнем ответственности могут быть адекватно рассчитаны линейно-спектральным методом.

Конструктивные схемы зданий и сооружений подразделяются по сложности на 3 категории:

1 – сложные – высота здания 55-100м, пролет 36-100м, вылет консоли 10-20м;

2 – средней сложности - высота здания 21-55м, пролет 12-36м, вылет консоли 3-10м;

3 – простые - высота здания <21м, пролет <12м, вылет консоли <3м.

В зависимости от категории сложности конструктивной схемы зданий и сооружений выполняются указанные в табл.5.2 типы расчетов на сейсмические воздействия. Таким образом, в СТО МГСУ реализуются положения многоуровневого расчета, который принимается в кодах многих стран, а также в ведомственных нормах по проектированию зданий и сооружений атомных станций.

**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

### 6. Апробация и обоснованность применяемых подходов к оценке сейсмостойкости сооружений

В основе Стандарта СТО МГСУ лежат многолетние исследования, перечень которых приведен в библиографии<sup>10</sup>.

Методы расчета, применяемые в Стандарте СТО МГСУ, были апробированы при проектировании различных объектов, в том числе уникальных, высотных, большепролетных, включая Олимпийские и спортивные сооружения к чемпионату мира 2018 г.

Отдельные вопросы рассматривались в рамках:

- Объединенного открытого научно-практического семинара: «Надежность и безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях».
- Учебного семинара для студентов и аспирантов МГСУ «Расчет и проектирование зданий и сооружений».
- Стажировки в Британский институт стандартов (BSI, Лондон).
- Научного Совета РААСН по сейсмологии и сейсмостойкому строительству.
- Международных конференций и семинаров в Москве, Пекине (Китай), Ариэле (Израиль), Алмате (Казахстан), Баку (Азербайджан), Тбилиси (Грузия), Вроцлаве (Польша), Инчхоне (Корея) и др.

### Объединенный Семинар

#### «Актуальные проблемы расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия (включая сейсмические и аварийные)»

№№ п/п	Дата и место проведения	Темы докладов, программа семинара
I	21 мая 2009, МГСУ	<p>1. Джинчвелашвили Г.А. (выступление) Проблемы расчета ответственных зданий и сооружений на особые воздействия</p> <p>2. Мкртычев О.В. (выступление) Расчет большепролетных и высотных сооружений на устойчивость к прогрессирующему обрушению при сейсмических воздействиях в нелинейной динамической постановке</p> <p>3. Алмазов В.О. (для печати) Соппротивление прогрессирующему разрушению: расчетные и конструктивные мероприятия</p> <p>4. Еремеев П.Г. (для печати) Мероприятия по защите большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения</p> <p>5. Кудишин Ю. И. (для печати) Концептуальные вопросы живучести строительных конструкций</p>

<sup>10</sup> См. сайт научно-исследовательской лаборатории МГСУ «Надежность и сейсмостойкость сооружений» [www.seismostroy.ru](http://www.seismostroy.ru)

II	11 октября 2010, Крокус-Сити	<p>1. Белостоцкий А.М, Акимов П.А., Сидоров В.Н. Математическое моделирование техногенной безопасности ответственных строительных объектов и комплексов мегаполисов</p> <p>2. Мкртычев О.В. Проблемы расчета зданий и сооружений на особые воздействия</p> <p>3. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет огнестойкости высотного здания при пожаре</p> <p>4. Мкртычев О.В., Мясникова Е.В. Надежность фундаментных конструкций на нелинейно деформируемом основании</p> <p>5. Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В. Критический анализ и перспективы развития современной теории сейсмостойкости сооружений</p> <p>6. Джинчвелашвили Г.А., Соснин А.В., Колесников А.В. Построение адекватной расчетной динамической модели сооружения путем проведения идентификационного эксперимента.</p>
III	15 сентября 2011, МГСУ	<p>1. Мкртычев О.В. О принципиальном заблуждении в СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах»</p> <p>2. Джинчвелашвили Г.А. Пути выхода теории сейсмостойкости из глубокого кризиса</p> <p>3. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Анализ основных положений СП 14.13330.2011 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»</p>
IV	2 ноября 2011, МГСУ	<p>1. Курбацкий Е.Н. Применение концепций спектра максимальных ускорений при расчете зданий и сооружений на сейсмостойкость</p> <p>2. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Бубис А.А. Повышение надежности и безопасности зданий при воздействии землетрясений</p> <p>3. Курзанов А.М. Некоторые современные вопросы сейсмозащиты сооружений</p> <p>4. Кузнецов С.В. Применение сейсмических барьеров для сейсмоизоляции сооружений</p> <p>5. Шестоперов Г.С. Концепция, приводящая к катастрофам</p>
V	17 апреля 2012, РУДН	<p>1. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Проблемы учета нелинейной работы материала в теории сейсмостойкости сооружений</p> <p>2. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Анализ условий разрушения нерегулярных пластических систем при повторно-переменном нагружении</p> <p>3. Мкртычев О.В. Применение резинометаллических сейсмоизолирующих опор при строительстве зданий в сейсмических районах</p>
VI	5 мая 2012, РУДН	<p>1. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Современное состояние нормативных документов по сейсмостойкому строительству</p>
VII	24 октября 2012, МГСУ	<p>1. Джинчвелашвили Г.А. Теоретические основы учета нелинейных эффектов в теории сейсмостойкости</p>

		<p>2. Мкртычев О.В. Коэффициент учета допускаемых повреждений для различных конструктивных систем</p> <p>3. Курбацкий Е.Н., Титов Е.Ю. Особенности расчета подземных сооружений на сейсмические воздействия</p> <p>4. Кузнецов С.В. Применение сейсмических барьеров для сейсмоизоляции сооружений</p>
VIII	16 апреля 2013, МГСУ	<p>1. Джинчвелашвили Г.А. Критический анализ СП 14.13330.2011 в свете гармонизации с Еврокодом 8 Клячко М.А. Развитие концепции сейсмического риска при проектировании сооружений</p> <p>2. Курзанов А.М. (РУДН, Москва) Анализ нормативной документации по сейсмостойкому строительству</p> <p>3. Курбацкий Е.Н. (МГУПС, Москва) Анализ сейсмостойкости подземных сооружений с использованием спектров реакции</p> <p>4. Гузев Р.Н. (ГипроСпецМост, СПб.) Анализ практического применения СП 14.13330.2011 при расчете транспортных сооружений на сейсмические воздействия</p>
IX	31 октября 2013, МГСУ	<p>1. Паушкин А.Г., Черкасова Л.И., Иванов М.Н. Системная модернизация и повышение наукоемкости нормативно-технической базы</p> <p>2. Смирнов В.И. О 1-й редакции 2013 г. СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах»</p> <p>3. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Стандарт организации МГСУ «Строительство в сейсмических районах». Пути преодоления противоречий в нормативных документах</p> <p>4. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проектирование зданий и сооружений с заданным уровнем сейсмостойкости</p> <p>5. Чернов Ю.Т., Петров И.А. Некоторые методы и задачи расчета конструкций и систем виброзащиты с конструктивной и физической нелинейностью</p> <p>6. Гераймович Ю.Д. (ЛИРА-Софт) Обзор возможностей расчета на сейсмические воздействия в программном комплексе ЛИРА версия 10.2.</p>
X	3 декабря 2014, МГСУ	<p>1. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Проектирование зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости, как новое направление в теории сейсмостойкости</p> <p>2. Евзеров И.Д., Гераймович Ю.Д. (ЛИРА-Софт) Реализация нелинейного статического метода (Pushover Analysis) в ПК ЛИРА 10.4 в соответствии с СТО МГСУ «Строительство в сейсмических районах»</p>

XI	26 ноября 2015, МГСУ	<p>1. Джинчвелашвили Гурам Автандилович Создание системы нормативных документов в области сейсмобезопасности</p> <p>2. Тяпин Александр Георгиевич Неоднородное демпфирование и ограничения применимости модального и спектрального методов расчета</p> <p>3. Мкртычев Олег Варганович Проектирование зданий и сооружений с заданным уровнем обеспеченности сейсмостойкости</p> <p>4. Аптикаев Феликс Фуадович, Эртелева Ольга Олеговна Задание сейсмических воздействий в нормативных документах по сейсмостойкому строительству</p> <p>5. Кузнецов Сергей Владимирович Сейсмические источники, волны и сейсмическая защита</p> <p>6. Курбацкий Евгений Николаевич Анализ актуализированных норм проектирования транспортных сооружений в сейсмических районах</p> <p>7. Заалишвили Владислав Борисович Оценка сейсмической опасности территории: детальное сейсмическое районирование (ДСР) и сейсмическое микрорайонирование (СМР)</p>
----	----------------------	--

## 7. Библиография

**7а** Дипломные работы, защищенные под руководством сотрудников НИЛ НиСС Мкртычева О.В. (д.т.н., проф.), Джинчвелашвили Г.А. (д.т.н., проф. МГСУ), Кузнецова С.В. (д.ф.-м.н., проф.).

### Дипломные работы

#### 2005 г.

1. Барышев Н.С. «Стесненное кручение и изгиб тонкостенных стержней».
2. Быков В.Г. «Исследование точных методов динамических контактных задач теории упругости для полуплоскости».
3. Батов А.А. «Исследование реакции стержневой конструкции на динамическое воздействие, заданное в виде стационарного случайного процесса».
4. Гасанов А.А. «Исследование живучести статически неопределимых стержневых систем».
5. Царев М.А. «Схемы потери устойчивости стержневых систем за пределами упругости».

#### 2006 г.

1. Васильев А.В. «Расчет системы сооружение-основание с учетом активной сейсмозащиты».
2. Голубев Н.В. «Метод предельного равновесия, как задача линейного программирования».
3. Овчинников Д.И. «Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом начального импульса».
4. Попов А.А. «Учет геометрической нелинейности при расчете многоэтажных рам».
5. Смирнов А.В. «Стохастический расчет системы сооружение-основание на сейсмостойкость».
6. Суднев Д.В. «Применение спектрального метода расчета сооружений на сейсмостойкость методом послонного интегрирования».
7. Смирнов А.В. «Стохастический расчет системы сооружение-основание на сейсмостойкость».

#### 2007 г.

1. Рамазанов А.С. «Оценка надежности внецентренно сжатого стержня при импульсной нагрузке».

2. Стерехов И.А. «Вероятностный расчет статически неопределимой рамы».
3. Сафронов А.В. «Оценка сейсмостойкости сооружений с учетом пластических свойств материала конструкций».
4. Юн А.Я. «Исследование систем активной сейсмозащиты многоэтажных зданий».  
**2008 г.**
1. Сушков П.А. «Взаимодействие сооружения с основанием при сейсмических воздействиях».  
**2009 г.**
1. Иванов Д.С. «Исследование сейсмостойкости сооружений с учетом начального импульса и конечной скорости распространения волн».  
**2011 г.**
1. Булушев С.В. «Исследование колебаний высотных сооружений с учетом поперечного сдвига (Р - дельта эффекта)».
2. Иванов Р.Н. «Сравнительный анализ расчета каркасного здания на сейсмическое воздействие по спектральному методу и во временной области».
3. Статинов Е.А. «Исследование взаимодействия сооружения с многослойным грунтовым основанием».  
**2012 г.**
1. Бусалова М.С. «Взаимодействие системы сооружение-основание при сейсмических воздействиях».
2. Дудченко А. «Методы оптимизации в теории виброгасителей».
3. Корнаков С.А. «Исследование систем активной сейсмозащиты».
4. Ким В.В. «Исследование физически нелинейной работы рамных и рамно-связевых систем».  
**2013 г.**
1. Бабочиев М.С. «Применение нелинейного статического метода для оценки поведения конструкции при сейсмическом воздействии».  
**2015 г.**
1. Алимкин Д.В. «Исследование неустановившихся колебаний системы с конечным числом степеней свободы при сейсмическом воздействии»;
2. Андреев М.И. «Расчет уникального высотного здания на землетрясение в нелинейной динамической постановке»;
3. Кононенко Ф. К. «Сравнительный анализ линейно-спектрального и прямого динамического методов расчета сейсмостойкости многоэлементных систем».

### **Магистерские диссертации**

**2007 г.**

1. Быков В.Г. «Исследование различных моделей при взаимодействии сооружения с основанием».
2. Барышев Н.С. «Стесненное кручение и изгиб тонкостенных стержней».
3. Гасанов А.А. «Расчет вертикальных несущих элементов нижних ярусов высотных сооружений в геометрически нелинейной постановке».
4. Царев М.А. «Исследование влияния диафрагм жесткости с переменными параметрами при сейсмозащите зданий повышенной этажности».
5. Юрьев Р.В. «Вероятностный расчет пластин с учетом физической нелинейности».

**2008 г.**

1. Васильев А.В. «Идентификация расчетной модели и исследование сейсмостойкости строительных конструкций главного корпуса АС».
2. Голубев Н.В. «Надежность конструкций при нагрузке случайно распределенной по длине».

**2009 г.**

1. Сафронов А.В. «Расчет многоэтажного монолитного здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению».

2. Стерехов И.А. «Оценка надежности конструкций многоэлементной системы».
3. Юн А.Я. «Исследование систем активной сейсмозащиты».

**2010 г.**

1. Решетов А.А. «Оценка надежности стержневых систем при случайном сейсмическом воздействии».
2. Сушков П.А. «Взаимодействие сооружения с основанием при сейсмических воздействиях».
3. Guérimand F., Masciotra J. «Wave propagation near vertices of inclined layers» INSA de Lyon.

**2011 г.**

1. Лазарев О.В. «Расчет большепролетной конструкции на взрывное воздействие».
2. Рубцова М.А. «Расчет конструкций на комбинированное силовое и температурное воздействие».

**2012 г.**

1. Мараховец А. «Математическое моделирование систем вибро- и сейсмозащиты на основе элемента Ценера»

**2013 г.**

1. Авершьева А.В. «Исследования по неразрушающей диагностике внутренних дефектов»
2. Булушев С.В. «Исследование поведения зданий при нестационарных динамических воздействиях с учетом физической и геометрической нелинейности».
3. Мемарианфард Хамед «Численные исследования оценки высокоскоростного проникновения снаряда в пластину из многослойного материала».
4. Статинов Е.А. «Сравнительный анализ учета нелинейных эффектов в отечественных и зарубежных нормативных документах».

**2014 г.**

1. Бусалова М.С. «Моделирование взаимодействия сооружения с основанием при расчете на землетрясение»;
2. Дудченко С.В. «Моделирование и анализ эффективности вертикальных сейсмических барьеров»;
3. Корнаков С.А. «Сейсмостойкость 9-ти этажного каркасного здания»;
4. Ким В.В. «Теоретические основы модального pushover анализа: предпосылки и ограничения»;
5. Овчинцев Е.М. «Моделирование сейсмического воздействия с заданным уровнем обеспеченности».

**2015**

1. Низамаев Т.М. «Моделирование и анализ волновых полей в упругом полупространстве от движущихся нагрузок».

### **Дипломные работы по направлению «Прикладная математика»**

**2009 г.**

1. Канев Д.В. «Исследование оптимальных методов решения систем уравнений математической физики».
2. Колесников А.В. «Расчет зданий и сооружений на сейсмическое воздействие с учетом нелинейной работы материала конструкций».
3. Мясникова Е.С. «Вероятностный расчет пластин на нелинейно деформируемом основании».

**2010 г.**

1. Воронцова Н.Ю. «Исследование сейсмостойкости зданий с элементами активной сейсмозащиты».

**2012 г.**

1. Бондарь Н.М. «Построение матрицы жесткости для расчета рам на упругом основании при гармонических колебаниях и при поперечном изгибе».



2. Кузнецова М.Ю. «Исследование взаимодействия сооружений с основанием с помощью преобразования Фурье для финитной функции».
3. Кекеляева А.В. «Исследование пластин по стержневой аналогии».
4. Овчинцев Е.М. «Применение волнового метода конечных элементов к решению строительных задач».

2013 г.

1. Плаксина С.С. «Методы анализа сейсмостойкости сооружений с учетом локальных разрушений».

#### Кандидатские диссертации по специальности 05.23.17 Строительная механика

№ п/п	ФИО соискателя ученой степени	Название диссертационной работы	Научный руководитель	Дата защиты
1	Васильчиков Валентин Владимирович	Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости зданий с учетом пространственных колебаний конструкций и податливости основания	д.т.н., доц. Джинчвелашвили Г.А.	2001
2	Пэн Джэньхуа	Исследование сейсмостойкости сооружений с повышенным демпфированием	д.т.н., доц. Джинчвелашвили Г.А.	2009
3	Юрьев Роман Васильевич	Оценка надежности пластин при действии случайных сейсмических нагрузок	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2010
4	Сидоров Дмитрий Сергеевич	Надежность конструкций при комбинированных силовых и температурных воздействиях	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2012
5	Дорожинский Владимир Богданович	Вероятностный расчет элементов конструкций на случайное взрывное воздействие в нелинейной динамической постановке	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2012
6	Мясникова Елена Станиславовна	Оценка надежности конструкций на нелинейно деформируемом основании при действии случайных нагрузок	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2012
7	Нафасов Айбек Эркинович	Сейсмические барьеры для защиты уникальных и исторических зданий и сооружений	д.ф.-м.н., проф. Кузнецов С.В.	2012
8	Решетов Андрей Александрович	Моделирование акселерограмм землетрясений в виде нестационарного случайного процесса	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2013
9	Бунов Артем Анатольевич	Оценка надежности зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2014

## Докторская диссертация по специальности 05.23.17 Строительная механика

№ п/п	ФИО соискателя ученой степени	Название диссертационной работы	Научный консультант	Дата защиты
1	Джинчвелашвили Гурам Автандилович	Нелинейные динамические методы расчета зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости	д.т.н., проф. Мкртычев О.В.	2015

### 76 Статьи по теории сейсмостойкости и сейсмостойкому строительству

1. Марджанишвили М.А., Джинчвелашвили Г.А. Учет податливости фундамента точечных зданий при определении сейсмических нагрузок. - Строительство и архитектура. Серия 14, «Сейсмостойкое строительство», научно-техн. реф. сб., 1979, вып.10, с. 1 - 5.

2. Назаров Ю.П., Аюнц В.А., Джинчвелашвили Г.А. Численные параметры векторов сейсмического воздействия Газлийского землетрясения 1976 г. - «Строительная механика и расчет сооружений», 1984, №2, с. 41-45.

3. Джинчвелашвили Г.А. Особенности работы сооружений за пределами упругости при пространственных сейсмических колебаниях. - Численные методы в исследованиях строительных конструкций. Труды ЦНИИСК им. Кучеренко, 1986, с.41-49.

4. Джинчвелашвили Г.А., Келешев М.Ф. Методика расчета решетчатых конструкций при пространственных сейсмических колебаниях. - Вычислительные методы в исследованиях строительных конструкций. Труды ЦНИИСК им. Кучеренко, 1987, с.74-85.

5. Саргсян А.Е., Джинчвелашвили Г.А. Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами. - Транспортное строительство, №11, 1998, с. 19-23.

6. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Анализ устойчивости зданий при аварийных воздействиях. - Наука и техника транспорта, № 2, 2002, с. 34-41.

7. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Эффективность применения сейсмоизолирующих опор при строительстве зданий и сооружений. - Транспортное строительство, №9, 2003, с. 15-19.

8. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Климова Д.В. Вероятностный подход оценки надежности зданий и сооружений при сейсмических воздействиях. - Транспорт. Наука, техника, управление. Сб. обзорной информации, №12, 2003, с. 52-57.

9. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А., Климова Д.В. Вероятностная оценка надежности системы сооружение-основание при случайном сейсмическом воздействии. - Вестник МГСУ, № 1, 2007, с. 101-104.

10. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Пэн Дженхуа. Оценка надежности систем с повышенным демпфированием. - Строительная механика и расчет сооружений, №3, 2007 г., с.7-10.

11. Шаблинский Г.Э., Джинчвелашвили Г.А., Васильев А.В., Колесников А.В. Идентификация расчетных схем сооружений на основе экспериментальных исследований. - «Строительная механика и расчет сооружений» № 6, 2008, с. 68-73.

12. Djeran-Maigre, S.V. Kuznetsov, Solitary SH waves in two layered traction free plates. - Comptes Rendus. Ser. Mecanique, 2008, vol.336 pp.102-107.

13. Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В. Развитие спектральной теории в прикладных задачах теории сейсмостойкости. - Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений №3, М.: ВНИИТПИ, 2009, с. 21-24.

14. Кузнецов С.В., Солитоноподобные волны Лэмба. - ПММ, 2009, vol. 73, No.1. 98-105.

15. Kuznetsov S.V. Soliton-like Lamb waves. - Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 2009. T. 73. № 1. С. 71-76.

16. Кукуджанов В.Н., Кузнецов С.В., А.С. Гришин, Левитин А.Л. Исследование распространения ударных волн в упругом слое и призматическом стержне. ВЕСТНИК ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко, 2009, 1(XXVI), с. 52-66.
17. Kuznetsov S.V. A new principle for protection from seismic waves. - Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering. Proceedings of the International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (IS- Tokyo 2009, Japan, 15-18 June 2009). P. 1-7. CRC Press, ISBN: 0415804841
18. Гольдштейн Р.В., Кузнецов С.В. Акустические поверхностные волны в неразрушающей диагностике слоистых нано композитов, Международная конференция к 100-летию со дня рождения Х.А.Рахматулина, М., Изд. МГУ, 2009.
19. Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э. Учет волновых эффектов при расчете высотных зданий на сейсмические воздействия. - Вестник НИЦ «Строительство». – 2010. – №2 (XXVII), с. 78-83
20. Мкртычев О.В. Анализ эффективности резинометаллических опор при строительстве высотных зданий в сейсмических районах. - Вестник НИЦ «Строительство». – 2010. – №2 (XXVII), с. 126-137
21. Мкртычев О.В., Мясникова Е.С. Надежность фундаментных конструкций на нелинейно деформируемом основании. - Вестник МГСУ. – 2010. – №4, т.5, с. 242-245
22. Kuznetsov S.V. Love waves in nondestructive diagnostics of layered composites. Survey. - Acoustical Physics, 2010, vol. 56, No.6., pp. 877-892.
23. Кузнецов С.В., Нафасов А.Э. Горизонтальные сейсмические барьеры для защиты от сейсмических волн. - Вестник МГСУ, 2010, т.2, вып.4, с. 131-134.
24. Кузнецов С.В., Секерж-Зенькович С.Я., Сравнение расчета задачи Лэмба по конечноэлементной модели с установившимся аналитически-численным решением. - Вестник ЦНИИСК, М., 2010, с.30-43.
25. Kuznetsov S.V. Seismic waves and seismic barriers. - Acoustical Physics, 2011, T. 57. № 3. С. 420-426.
26. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Надежность железобетонной стены при комбинированных силовых и температурных воздействиях. - электронный вариант Сб. трудов Научно практической конференции «Пожарная безопасность зданий и сооружений на стадиях строительства и эксплуатации». М., 2012. - 4 с.
27. Капцов А.В., Кузнецов С.В. Моделирование волновых процессов вблизи эпицентров землетрясений. - International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Т. 8. № 1. С. 72-86.
28. Капцов А.В., Кузнецов С.В. Моделирование и численный анализ внутренней и внешней задач Лэмба. - Вестник НИЦ Строительство. 2012. № 5. С. 16-29.
29. Кузнецов С.В. Сейсмические волны и сейсмические барьеры. - International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Т. 8. № 1. С. 87-95.
30. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Расчет железобетонного монолитного здания на землетрясение в нелинейной постановке. - Сборник докладов Международной научно-методической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.Н. Байкова. М.: МГСУ, 2012, с. 283-289.
31. Гольдштейн Р.В., Кузнецов С.В. Поверхностные акустические волны в неразрушающей диагностике слоистых сред. Исследование чувствительности акустических поверхностных волн к вариации геометрических и физических свойств отдельных слоев. - ПММ. 2013, N1, 74-82.
32. Вершинин В.В., Кузнецов С.В. Учет волновой природы сейсмических воздействий при расчете сооружений. - IJCCSE, 2013. Т. 9. № 1. С. 103-116.
33. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Концепция нормативного документа нового поколения по сейсмостойкому строительству. - "Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в

- строительстве", Сб. материалов международной научно-практической конференции, 19-20 декабря 2013. – Алматы: КАЗГАСА, 2013. – с. 43-47.
34. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Применение вейвлет-анализа для получения характеристик акселерограмм. - Вестник МГСУ. – 2013. – №7, с. 59-67.
35. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Оценка сейсмостойкости здания с сейсмозащитой в виде резинометаллических опор. - Вестник МГСУ. – 2013. – №8, с. 21-28.
36. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Постановка задачи теории надежности для зданий и сооружений с системой активной сейсмозащиты. - Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9, с. 16-17.
37. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Методика моделирования наиболее неблагоприятных акселерограмм землетрясений. - Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 9, с. 27-29.
38. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Современные концепции развития нормативных документов по сейсмостойкому строительству. - Научно-практический журнал. – 2013. – № 9, с. 47-58.
39. Kuznetsov S.V. Dispersion of SH and Love Waves. - International Journal of Physics, 2014, Vol. 2, No. 5, 170-180. ISSN: 2333-4568.
40. Kuznetsov S.V. Scattering of elastic waves in periodic media. - International Journal of Latest Research in Science and Technology, 2014, vol. 3, No.4, pp. 61-64. ISSN:2278-5299.
41. Kuznetsov S.V. Fundamental solutions of Lamé's equations for media with arbitrary elastic anisotropy. - Research, 2014, vol. 1, pp. 1:966-1:969, ISSN: 2334-1009.
42. Kuznetsov S.V. Lamb waves in anisotropic plates. - Acoustical Physics, 2014, vol. 60, pp. 95-103, ISSN: 1063-7710.
43. Djeran-Maigre I., Kuznetsov S.V. Velocities, dispersion, and energy of SH-waves in anisotropic laminated plates. - Acoustical Physics, 2014, vol. 60, pp. 200-207, ISSN: 1063-7710.
44. Kuznetsov S.V. Comparative Analysis of Zener and Kelvin Models. - Journal of Vibration Analysis, Measurement, and Control, 2014, Vol. 2 No. 1 pp. 30-40. doi:10.7726/jvamc.2014.1003.
45. Кузнецов С.В., Терентьева Е.О. Задача Лэмба: Обзор и анализ методов исследования. - International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Т. 10. № 1. С. 78-92.
46. Кузнецов С.В., Худяков М.А. Демпфирующие свойства элемента Кельвина-Фойгта с симметричной пружиной. - International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Т. 10. № 1. С. 93-100.
47. Кузнецов С.В. Уравнения состояния некоторых упругопластических сред. - International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2014. Т. 10. № 3. С. 82-104.
48. Кузнецов С.В. Волны Лэмба в анизотропных пластинах. - Акустический журнал, 2014, т.60, №1, с. 90-103.
49. Мкртычев О.В., Бусалова М.С. Расчет многоэтажного здания на интенсивное землетрясение с учетом возможности разжижения грунтов основания. - Вестник МГСУ. – 2014. – №5, с. 63-69.
50. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Особенности расчета сейсмоизолированного здания по перемещениям. - Вестник МГСУ. – 2014. – №6, с. 63-70.
51. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Анализ влияния грунтовых условий на эффективность сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор. - Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №6, с. 68-71.
52. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А., Бусалова М.С. Задача вероятностного расчета конструкции на линейно и нелинейно деформируемом основании со случайными параметрами. - Вестник МГСУ – 2014 - №12, с. 106-112.
53. Mkrtychev O.V., Dzinchvelashvili G.A., Busalova M.S. Calculation accelerogram parameters for a ``Construction-Basis`` model, nonlinear properties of the soil taken into account - Procedia Engineering –2014 - vol.91, pp. 54-57.

54. Mkrtcheyev O.V., Dzinchvelashvili G.A., Bunov A.A. Study of lead rubber bearings operation with varying height buildings at earthquake. - *Procedia Engineering* –2014 - vol.91, pp. 48-53.
55. Andreev V.I., Mkrtcheyev O.V., Dzinchvelashvili G.A. Calculation of long span structures to seismic and accidental impacts in nonlinear dynamic formulation. - *Applied Mechanics and Materials* –2014 - vols.670-671, pp. 764-768.
56. Кузнецов С.В., Волны Лэмба в заземленном и частично заземленном слое. - *Изв. РАН. МТТ*. 2015. 50 (1). С. 81-95.
57. Кузнецов С.В., Терентьева Е.О. Волновые поля и области доминирования для внутренней задачи Лэмба. - *Изв. РАН. МТТ*. 2015. 50 (5). С. 232-237.
58. Goldstein R.V., Kuznetsov S.V., Khudyakov M.A. Study of forced vibrations of the Kelvin-Voigt model with an asymmetric spring. - *Mechanics of Solids*, 2015, 50 (3), 294-304.
59. Kuznetsov S.V., Terentjeva E.O. Planar internal Lamb problem: Waves in the epicentral zone of a vertical power source. - *Acoustical Physics*, 2015, 61 (3), 356-367.
60. Saparliev H.M., Kuznetsov S.V. The Modified Cam-Clay (MCC) mathematical models. - *Kasmera Journal*, 2015, vol. 43(2), pp. 338-348.
61. Saparliev H.M., Kuznetsov S.V. Harmonic Lamb Waves in Heterogeneous Anisotropic Plates. - *International Journal of Engineering Innovation & Research*, 2015, vol. 4, Issue 5, pp. 790-798.
62. Andreev V.I., Mkrtcheyev O.V., Dzinchvelashvili G.A., Bunov A.A. Settlement Researches of Seismically Isolated Buildings. - *Applied Mechanics and Materials Vols. 752-753* (2015), pp. 599-604.
63. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Методика определения исходных характеристик наиболее неблагоприятных акселерограмм для линейных систем с конечным числом степеней свободы. - *Вестник МГСУ* – 2015 - №8, с. 80-91
64. Мкртычев О.В., Решетов А.А. Синтезирование наиболее неблагоприятных акселерограмм для линейной системы с конечным числом степеней свободы. - *International Journal of Computer and Communication System Engineering*, volume 11, issue 3, pp. 101-115
65. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Сидоров Д.С. Исследование сейсмостойкости железобетонных зданий различных конструктивных схем. - *Вестник МГСУ* – 2015 - №12, с. 66-75
66. Mkrtcheyev O.V., Dzinchvelashvili G.A., Busalova M.S. Calculation of a multi-storey monolithic concrete building on the earthquake in nonlinear dynamic formulation. - *Procedia Engineering*. 2015. №111. P. 545-549.
67. Mkrtcheyev O.V., Dzinchvelashvili G.A., Busalova M.S. Assessing the reliability of a multi-storey monolithic concrete building with base. - *Procedia Engineering*. 2015. №111. P. 550-555.
68. Мкртычев О.В., Андреев М.И. Расчет уникального высотного здания на землетрясения в нелинейной динамической постановке. - *Вестник МГСУ* – 2016 - №6, с. 25-33
69. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А., Дзержинский Р.И. Философия многоуровневого проектирования в свете обеспечения сейсмостойкости сооружений. - *Геология и геофизика Юга России*, № 1, 2016. – с. 71-81
70. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В. Основные расчетные положения обеспечения сейсмостойкости сооружений. - *Проблемы безопасности российского общества*, №1, 2016. – с. 115-121.

#### **7в Книги (монографии, учебные пособия)**

1. Саргсян А.Е., Аюнц В.А., Бедняков В.Г., Джинчвелашвили Г.А. Сейсмозащита атомных станций. М.: Информэнерго, 1989. - 48 стр.
2. Джинчвелашвили Г.А. Строительство в особых условиях. Научно-технические достижения в строительстве. (Отечественный и зарубежный опыт). М.: Информэнерго, 1990. - 98 стр.

3. Саргсян А.Е., Райзер В.Д., Мкртычев О.В. Метод статистических испытаний при расчете строительных конструкций на надежность (учебное пособие). М.: РГОТУП. - 1999. 2,25 п.л.
4. Саргсян А.Е., Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов. Издание второе исправленное и дополненное. М.: Высшая школа, 2000. - 416 стр.
5. Мкртычев О.В. Сопротивление материалов. Обучающий программный комплекс на CD-ROM (учебное пособие, рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области строительства). М.: АСВ. – 2005. 6,5 п.л.
6. Мкртычев О.В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях (монография) - М.: МГСУ, 2010. – 152 с.
7. Ильясов Х.Х., Кузнецов С.В., Секерж-Зенькович С.Я., Исследование решения задачи Лэмба с помощью конечноэлементного метода и аналитически-численного подхода. М.: ИПМех РАН, Препринт № 934, 2010.
8. Кузнецов С.В., Кузнецова М.Н., Нафасов А.Э., Исследования по теории поверхностных волн Конечноэлементное моделирование распространения сейсмических волн и взаимодействия их с горизонтальными барьерами. М.: ИПМех РАН, Препринт № 945, 2010.
9. Шаблинский Г.Э., Зубков Д.А., Джинчвелашвили Г.А. Сейсмостойкость строительных конструкций атомных электростанций. М.: АСВ, 2010. - 252 стр.
10. Мкртычев О.В., Юрьев Р.В. Моделирование случайных акселерограмм и нелинейный расчет строительных конструкций (монография) – М.: МГСУ, 2012. – 87 с.
11. Kuznetsov S.V., Kosheleva E.L. Additional chapters of higher mathematics. М.:MGSU, 2012, ISBN 978-5-7264-0701-2
12. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). Москва: МГСУ, 2012. – (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ). - 192стр.
13. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений: пер. с англ. / М. Фардис и др.; ред. серии Х. Гульванесян; научн. ред. пер. Г.А. Джинчвелашвили. – М.: МГСУ, 2013. – 484 с.
14. Мкртычев О.В., Бунов А.А. Надежность железобетонных зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор при землетрясении: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 148 с.
15. Мкртычев О.В., Дорожинский В.Б., Сидоров Д.С. Надежность строительных конструкций при взрывах и пожарах: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 174 с.
16. Джинчвелашвили Г.А., Мкртычев О.В., Ковальчук О.А., Колесников А.В., Соснин А.В. Идентификация расчетных моделей при динамических воздействиях. – М.: НИУ МГСУ, 2016. – 258 с.
17. Шаблинский Г.Э., Джинчвелашвили Г.А. Сейсмостойкость строительных конструкций атомных электростанций. – М.: АСВ, 2016. – 321 с.