

## СЕЙСМОИЗОЛЯЦИЯ КАК СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Ж.Т.Омукеев, Д.С.Чепурова  
E.mail. [ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

*Имараттарды жана курулуштарды антисейсмикалык күчтөндүрүүнүн ыкмаларын карап чыгуу жана имараттардын жана курулуштардын сейсмостуруктуулугу жөнүндө түшүнүк*

*Приведен обзор методов антисейсмического усиления зданий и сооружений, а также понятие о сейсмостойкости зданий и сооружений.*

*A review of methods antiseismic gain of buildings and structures, as well as the concept of the seismic stability of buildings and structures.*

Тем, кто живет в сейсмически опасных районах и кому хотя бы однажды приходилось испытывать на себе воздействия землетрясения, по-видимому, знакомо ощущение страха и чувство беспомощности перед силами природы. О последствиях разрушительных землетрясений многим известно еще со школьной скамьи. В то же время пугаться как-будто не нужно, ведь сейсмостойкие дома строятся с соблюдением строительных норм и правил (СНиП) или сейсмических строительных кодов, как принято их называть в других странах. Однако не всем известно, что в случае максимальной, иными словами, расчетной сейсмической нагрузки в здании всегда будут повреждения, которые снижают его жесткость и прочность /1/.

### Классификация методов антисейсмического усиления

Общая классификация систем сейсмозащиты может быть показана в виде схемы, представленной на рис.1. В соответствии со сложившейся терминологией в теории виброзащиты будем подразделять специальную сейсмозащиту на активную (имеющую дополнительный источник энергии) и пассивную.

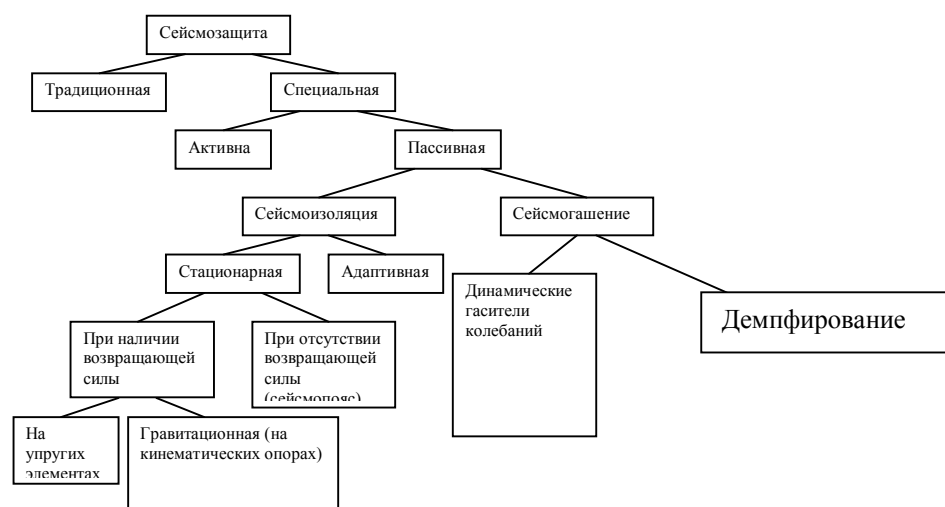


Рис. 1. Классификация систем сейсмозащиты по принципу их работы

В данный момент существуют предложения по активной сейсмозащите, включающей дополнительные источники энергии и элементы, регулирующие работу этих

источников, однако ее реализация требует значительных затрат на устройство и эксплуатацию. Это исключает возможность широкого применения активной сейсмозащиты для строительных конструкций. Ниже рассматриваются специальные методы пассивной сейсмозащиты, не использующие дополнительных источников энергии. Эти методы подразделяются на сейсмогашение и сейсмоизоляцию /4-5/.

В системах сейсмогашения, включающих демпферы и динамические гасители, механическая энергия колеблющейся конструкции переходит в другие виды энергии, что приводит к демпфированию колебаний или перераспределяется от защищаемой конструкции к гасителю.

В системах сейсмоизоляции обеспечивается снижение механической энергии, получаемой конструкцией от основания, путем отстройки частот колебаний сооружения от преобладающих частот воздействия. Различают адаптивные и стационарные системы сейсмоизоляции. В адаптивных системах динамические характеристики сооружения необратимо меняются в процессе землетрясения, «приспосабливаясь» к сейсмическому воздействию. В стационарных системах динамические характеристики сохраняются в процессе землетрясения.

Наибольшее распространение среди систем стационарной сейсмоизоляции получили сейсмоизолирующие фундаменты, которые достаточно широко применяются в отечественной и зарубежной практике сейсмостойкого строительства.

Так какой все же дом называют сейсмостойким? В мировой практике под сейсмостойкими принято подразумевать дома, в которых ожидаемые разрушения после расчетного землетрясения не сопряжены с гибелью людей. После таких землетрясений поврежденные здания, как правило, не восстанавливаются из-за технической сложности или больших материальных затрат /4-5/.

Возникает тогда еще один вопрос: а что происходит при землетрясениях, несколько меньших по интенсивности расчетных, которые, как известно, происходят чаще?

Казалось бы, такие воздействия не являются опасными. Однако так можно было бы считать только при совсем слабых сейсмических толчках. При более сильных толчках, а тем более приближенных по интенсивности к расчетным, повреждения конструкций всегда имеют место, хотя и не сразу заметные. Более того, в зависимости от количества или длительности таких землетрясений повреждения, накапливаясь, снижают расчетную сейсмостойкость здания и делают его неготовым воспринимать расчетное землетрясение. Такой вывод подтверждается значительными повреждениями зданий, располагаемых в зонах частых, хотя и не сильных, сотрясений техногенного происхождения. То же самое подтверждается при виброиспытаниях на сейсмостойкость вновь построенных зданий. Характерным примером влияния слабых, но частых воздействий могут быть крупнопанельные дома в Петропавловске-Камчатском, которые потребовали дорогостоящего усиления еще до ожидаемого расчетного землетрясения.

Из вышесказанного можно сделать лишь один вывод. Выходит, нормативное удорожание здания за счет антисейсмических мероприятий предназначено для восприятия лишь одного расчетного землетрясения или двух, несколько меньших расчетного. После них здание необходимо либо сносить и строить новое, либо усиливать за счет конструктивных мероприятий. То и другое сопряжено с большими затратами средств, труда и времени, что всегда будет создавать большие проблемы, особенно в жилищном строительстве. Не дешевле ли сразу предусматривать расходы на резерв прочности?

Однако уже много лет существует способ, который позволяет не только избежать таких расходов, но и снизить нормативное удорожание здания. Речь идет об использовании опор-фундаментов, снижающих связь здания с грунтовым основанием, о чем людям было известно еще в древности. Естественно, без достаточно веского научно-технического обоснования такие опоры, предлагаемые отдельными авторами еще в начале прошлого столетия, не могли быть реализованы. Но в 70-х годах в нашей стране над этой проблемой уже работало целое научное подразделение, в котором исследовались наиболее

рациональные решения, соответствующие современному техническому уровню строительства. Поскольку опоры предназначались для снижения связи здания с колеблющимся грунтом при землетрясении, они в то время были названы сейсмоизолирующими, а научное направление по их применимости со временем стало называться сейсмоизоляцией зданий и сооружений.

Исследования на протяжении более чем трех десятков лет потребовали от исполнителей создания расчетно-теоретической базы сейсмоизоляции и экспериментального подтверждения ее полезности не только на моделях, но и в составе зданий различной этажности. Из свойств сейсмоизолирующих опор приоритетными были:

- прочность и устойчивость при смещениях во время землетрясения;
- достаточный эффект снижения сейсмических нагрузок на здания;
- стоимость самих опор и их технологичность, доступная для повсеместного строительства.

Среди других решений больше всего этим свойствам соответствовали так называемые опоры КФ, которые нашли применение в сотнях домов различной этажности во многих сейсмоопасных районах России, Казахстана, Узбекистана.

Дома на КФ испытывались мощным вибратором, а некоторые уже подвергались воздействиям землетрясений интенсивностью от 4 до 8 баллов по шкале MSK-64. Несмотря на некоторые допускаемые ошибки в проектировании, опоры подтвердили свое назначение защищать здания от повреждений при землетрясениях /3/.

Основные преимущества системы с внешней пространственной рамой состоят:

- в повышении общей изгибной жесткости каркаса (при расположении колонн по контуру здания увеличивается момент инерции горизонтального сечения каркаса),
- в снижении относительной доли сдвиговых смещений в общем прогибе каркаса до 30-40 % (в результате развития сечений ригелей и колонн в плоскости рамной грани и более частого расположения колонн).

Современный этап теории сейсмостойкости характеризуется интенсивным развитием всех направлений исследований, расширением проблематики, возникновением новых аспектов и задач. Такое положение объясняется рядом причин: за последние годы населению различных стран мира пришлось пережить разрушительные землетрясения, усилившие интерес к проблеме сейсмостойкости, существенно увеличился объем информации о сейсмических воздействиях и методах учета динамических воздействий на сооружения.

Разнообразие конструктивных систем многоэтажных зданий для строительства в сейсмических районах, в том числе с применением стальных конструкций, связано, прежде всего, с поиском рациональных систем зданий, обеспечивающих защиту населения от последствий сильных землетрясений и выбор конструктивной системы, отвечающей функциональному назначению здания /4-5/.

Существующая классификация конструктивных схем стальных каркасов предусматривает их разделение на рамные, рамно-связевые, связевые (пространственно-связевые) системы и может быть расширена в соответствии с появлением сравнительно новых схем, применяющихся в практике сейсмостойкого строительства как в нашей стране, так и за рубежом.

К наиболее эффективным конструктивным схемам каркасных зданий высотой 20-30 этажей следует отнести коробчато-ствольную (оболочково-ствольную) схему, в зарубежной терминологии «tubeintube». Система отличается тем, что в восприятии горизонтальных и вертикальных нагрузок совместно с внутренним стволом участвует замкнутая наружная оболочка-коробка, образованная конструкциями наружных стен здания и способная, благодаря соответствующей структуре, работать под действием горизонтальных нагрузок как одно целое.

Используя для конкретных условий строительства те или иные комбинации систем, дополняя их поясами жесткости, пространственными ростверками и обеспечивая лучшее взаимодействие конструкций, можно существенно расширить область рационального применения исходной конструктивной системы.

Современное сейсмостойкое строительство многоэтажных зданий характеризуется широким применением технических средств и решений, направленных на снижение реакции зданий и сооружений при сейсмических воздействиях за счет поглощения энергии колебаний (системы активной сейсмозащиты) или размещения между фундаментом и зданием устройств, ослабляющих кинематические связи фундамента с надземными конструкциями (сейсмоизоляция зданий и сооружений).

Классификация систем активной сейсмозащиты позволяет установить общие требования по оценке эффективности и выбору критериев надежности для каждой из групп технических устройств, наметить объем и методику экспериментальных и расчетно-теоретических исследований для проверки работоспособности конкретной конструктивной системы.

Для рассматриваемой в настоящей работе конструктивной схемы многоэтажных каркасных зданий с демпфирующими стойками наибольший интерес представляют системы активной сейсмозащиты с повышенными диссипативными характеристиками.

Анализ последствий сильных землетрясений как критерий оценки надежности применяемых конструктивных решений проведен на примере землетрясения Нуогокен-Нанбу (Кобе, Япония), 17.01.1995, с магнитудой 7,2 /4-5/.

Оценка надежности современных конструктивных систем зданий и сооружений, по результатам анализа землетрясения в Кобе, в том числе для систем, относящихся к настоящей работе, состоит в следующем:

– здания многоэтажных гаражей с применением связевых рам (braced frame) в одном направлении и рамных систем, воспринимающих изгибающие моменты (moment frame), – в другом направлении получили сильные повреждения вследствие недостаточной несущей способности и малой пластичности диагональных связей;

– здание гаража, построенное за два года до землетрясения с применением демпфирующих устройств (расположенное в деловой части города, где выявлены наибольшие разрушения), хорошо перенесло землетрясение. Отмечается высокое качество проектирования и разработки связевых систем, применяемых в практике современного строительства в Японии.

Рассмотренные предпосылки и обоснования методов расчета зданий и сооружений, применяемых в современной теории сейсмостойкости, позволяют установить, что спектральный метод расчета зданий и сооружений дает оценку максимальных величин ускорений (скоростей и смещений) грунта по нормальным составляющим (формам) колебаний. Такой подход основан на аналогии между законом изменения во времени отдельной нормальной координаты сложной системы и законом колебания линейного осциллятора с соответствующим собственным периодом и характеристикой рассеяния энергии.

Эта аналогия позволяет использовать в расчетах на сейсмические воздействия сложных систем спектральные кривые, описывающие зависимость максимальных смещений, скоростей или ускорений сейсмических колебаний линейного осциллятора в функции его периода и характеристики затухания. Спектральный метод расчета широко применяется в современной теории сейсмостойкости и служит основой расчетной методики в нормах сейсмостойкого строительства большинства стран.

В рамках решения задач, поставленных в настоящей работе, спектральный метод расчета позволяет получить решения по обеспечению сейсмической надежности рассматриваемой конструктивной системы с достаточной для практических целей

точностью и обоснованностью. В нормах РК (в нормах России и стран СНГ) отсутствуют дифференцированные оценки поведения зданий со стальным каркасом, запроектированных с применением различных конструктивных схем и технических мероприятий, повышающих способность зданий воспринимать горизонтальные сейсмические нагрузки. Конструктивные мероприятия, направленные на обеспечение условий пластического деформирования и повышение диссипативных характеристик различных систем зданий, приводятся в нормах сейсмостойкого строительства в виде общих положений /2/.

Конкретные конструктивные решения находят отражение в отдельных пособиях или рекомендациях, известных только узкому кругу специалистов. Статус этих документов нередко ограничен ведомственной принадлежностью или правами разработчика, обсуждение, обобщение и систематизация рекомендаций носят нерегулярный характер и затягиваются на десятилетия, до разработки новой редакции норм.

В нормативных документах большинства зарубежных стран значения модифицированного коэффициента реакции системы  $R_w$  (фактора поведения системы  $q$ ) представлены довольно детально и отражают как эффективность применяемых конструктивных систем зданий, так и прямое влияние диссипативных характеристик конкретных конструктивных систем зданий. Такой подход представляется достаточно рациональным, поскольку стимулирует применение прогрессивных конструктивных систем, позволяющих существенно снизить значения расчетных сейсмических нагрузок и, следовательно, получить экономию материалов и ресурсов при сохранении заданного уровня сейсмобезопасности зданий и сооружений /2, 6/.

Практикой доказано, что пространственная жесткость и эффективность работы рамной системы существенно повышается при размещении колонн по контуру здания. Такие конструктивные системы нередко использовались как в бывшем СССР, так и в других странах, и на сегодняшний день применяются при проектировании зданий в СНГ и в дальнем зарубежье.

### Список литературы

1. Уздин А.М. и др. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. – СПб., 1993. – 176 с.
2. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – М.: Госстрой России, 2000. – 318 с.
3. Авидон Г.Э., Карлина Е.А. Особенности колебаний зданий с сейсмоизолирующими фундаментами А.М. Курганова и Ю.Д. Черепинского // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 1. – С. 42-44.
4. Смирнов С.Б., Тентиев Ж.Т., Ордобаев Б. С., Кожобаев Д. Ш. Поверхностная толща грунта – генератор сдвиговых колебаний // Известия вузов. – Бишкек, 2008. – № 10 – С. 14-17.
5. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Сардарбекова Э.К. Некоторые вопросы анализа современной теории сейсмозащиты зданий // Вестник КРСУ. – 2010. – Том 10. – № 2. – С. 119-121.
6. СНиП КР 20-02-2009 Сейсмостойкое строительство / Государственная комиссия Кыргызской Республики по архитектуре и строительству.– Бишкек, 2009.