

УДК 69.059:624.131(575.2)(04)

## СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ, ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

В.С. Семенов, Т.В. Веремко

Приведена классификация и основные конструктивные решения систем сейсмозащиты зданий и сооружений.

*Ключевые слова:* сейсмозащита; сейсмоизоляция; фундаменты; конструктивная сейсмобезопасность; демпфирующие устройства.

После последних разрушительных землетрясений (Гаити, 2010; Япония, 2011 и др.) проблеме сейсмозащиты зданий и сооружений от разрушений уделяется все большее внимание. На сегодняшний день известно более 100 запатентованных конструктивных решений, которые, по мнению их авторов, позволяют значительно снизить сейсмические нагрузки на здания и сооружения и тем самым обеспечить их сейсмобезопасность.

По принципу работы (свойствам обеспечения сейсмостойкости) все системы сейсмозащиты можно условно разделить на три группы. К первой группе относятся системы, использующие традиционные принципы сейсмозащиты – увеличение жесткости (прочности) конструктивных элементов за счет увеличения сечений или использования материалов с повышенными прочностными характеристиками. Ко второй относятся так называемые “специальные системы”, которые используют новые, не известные ранее принципы и подходы, также обеспечивающие снижение сейсмических нагрузок на здания и сооружения. К третьей группе можно отнести системы, использующие комбинации традиционных и специальных методов сейсмозащиты, т. е. комбинированные системы.

Одна из первых классификаций систем сейсмозащиты была предложена в 1993 г. проф. А.М. Уздиным [1], однако в ней не предусмотрены разрабатываемые в последние годы способы **внешнего снижения** сейсмических воздействий, а также защитные устройства, реализующие эти способы.

Ниже приведена дополненная классификация систем сейсмозащиты, согласно кото-

рой специальные системы делятся на активные и пассивные (таблица 1).

Активные системы построены на основе применения дополнительных источников энергии, работающих в противофазе к дестабилизирующему воздействию.

При создании систем пассивного гашения колебаний используют устройства (комплекс устройств) с постоянными параметрами, способствующими снижению амплитуд колебаний зданий и сооружений без использования внешнего источника энергии.

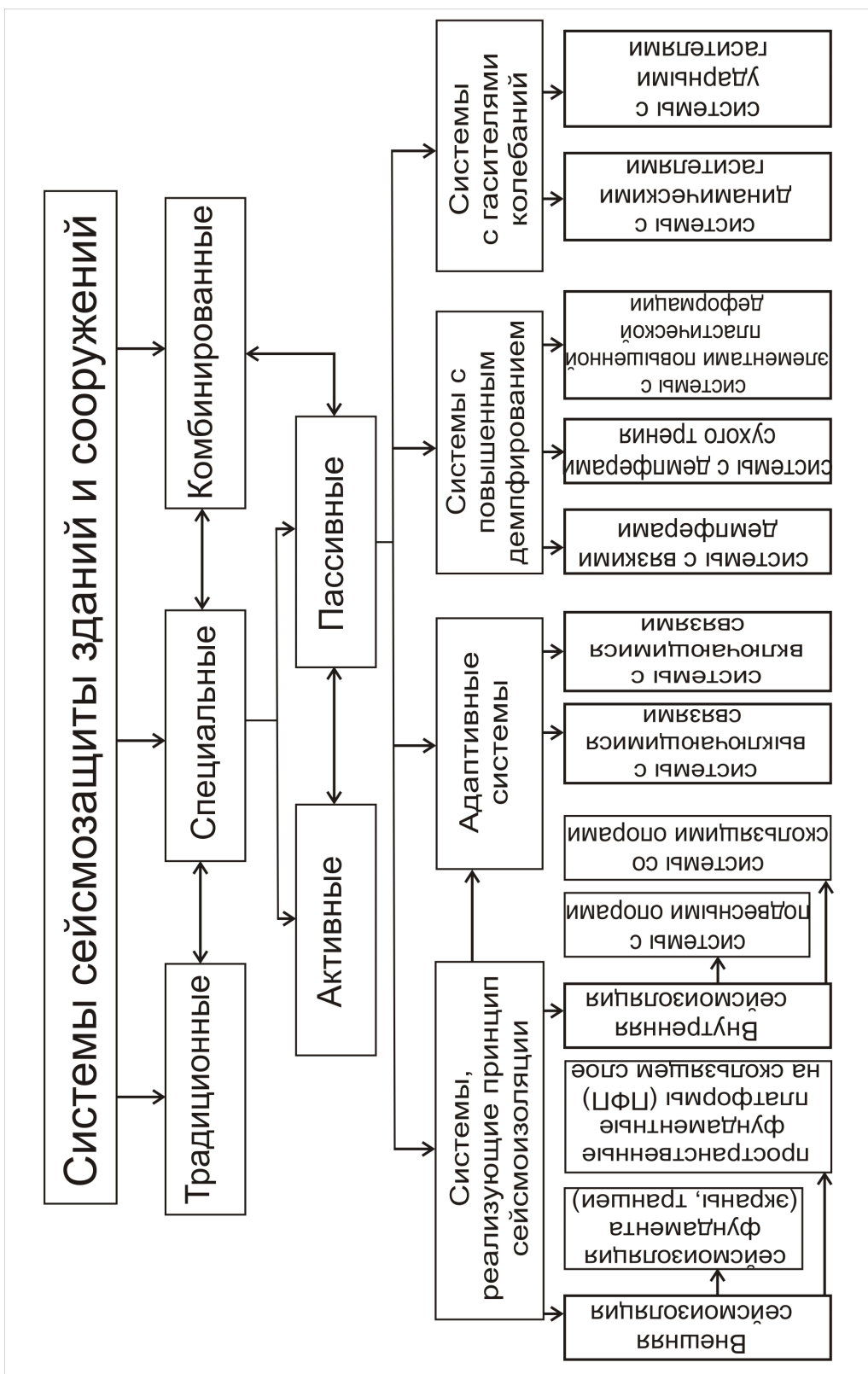
Кроме того, возможно применение комбинированных систем сейсмозащиты, объединяющих две или более из указанных выше систем, что позволяет более полно использовать положительные свойства каждой отдельной системы и уменьшить влияние их отрицательных свойств.

Системы пассивного гашения колебаний (СПГК) можно классифицировать по принципу действия: **системы, реализующие принцип сейсмоизоляции; адаптивные системы; системы с повышенным демпфированием; системы с гасителями колебаний.**

Каждая из выделенных групп может быть разделена на несколько подгрупп, объединенных по принципам конструктивной реализации и по характеру взаимодействия с защищаемой конструкцией.

Рассмотрим их подробнее. В середине XX в. появился интерес к специальным конструкциям подземной части зданий, которые способны уменьшить инерционные силы в надземных частях. Это **системы, реализующие принцип сейсмоизоляции.**

Таблица 1



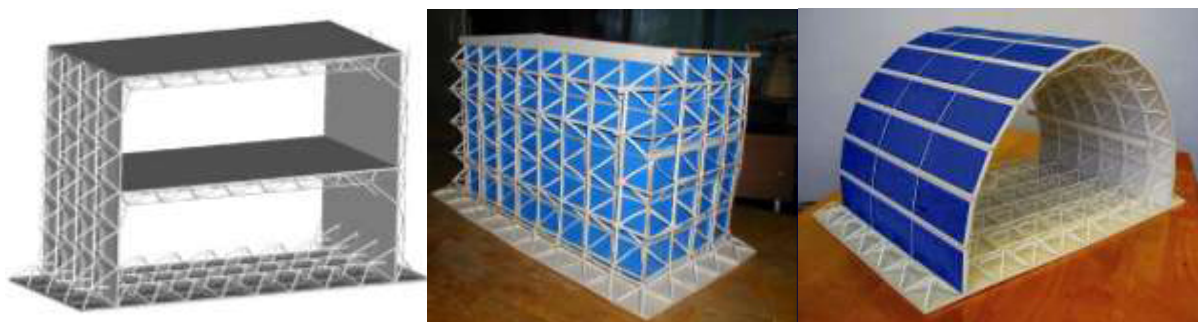


Рисунок 1 – Примеры многосвязных зданий замкнутого типа, объединенных с пространственной фундаментной платформой

Их подразделяют на системы внешней и внутренней сейсмоизоляции. К системам внешней сейсмоизоляции относятся защитные устройства: экраны, траншеи, пространственные фундаментные платформы на скользящем слое и др. [2].

*ПФП на скользящем слое* (рисунок 1), разрабатываемые в Сибирском федеральном университете, являются частью системы, которая обеспечивает цельность всей системы “фундамент – сооружение” и выполняет ряд дополнительных конструктивных и эксплуатационных функций как при наличии, так и при отсутствии сейсмике. Можно сказать, что ПФП на скользящем слое наделяют конструктивную систему свойствами, которые не имеют традиционные сейсмоизоляционные устройства.

К системам внутренней сейсмоизоляции можно отнести системы с подвесными и со скользящими опорами. В 60-х гг. прошлого века в Ашхабаде было построено трехэтажное здание с сейсмоизоляцией системы Ф.Д. Зеленкова (*подвесные опоры*), где наземные конструкции с помощью тяжей и пружин подвешивались к стенам монолитного фундамента (рисунок 2). Такая система должна была снижать как горизонтальные, так и вертикальные колебания.

Системы со *скользящими опорами* призваны существенно снизить горизонтальные нагрузки, передаваемые на несущие надземные конструкции здания вследствие возможности их проскальзывания относительно фундамента. Часть энергии, сообщаемой сооружению, затрачивается при этом не на преодоление сопротивления связей в конструкции, а на преодоление сил трения скольжения. В качестве материалов здесь используют неопрен, тефлон, фторопласт и другие пластики, элементы с сухим трением.

Преимуществом сейсмоизолирующих систем является меньшая чувствительность соору-

жения к неравномерным осадкам фундаментов. Но исследования показали, что сооружения с подобными конструкциями СПГК разрушаются при землетрясениях с преобладанием низкочастотных составляющих.

Теория **адаптивных систем** наиболее полно разработана в ЦНИИСК им. Кучеренко. Преимущество адаптивных систем – изменение динамических характеристик в регулируемых пределах, что позволяет системе “уходить” от резонансных явлений в случае совпадения доминантного периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения. Одним из авторов адаптивных систем с включающимися и выключающимися связями можно считать Я.М. Айзенберга [3].

В системах с выключающимися связями изменение динамических характеристик объекта происходит за счет разрушения выключающихся связей при достижении некоторого порогового уровня амплитуд колебаний. Выключающимися связями могут быть специальные резервные элементы и отдельные несущие конструкции.

В системах с включающимися связями в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций сооружения происходит включение связей, что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению “мгновенной” частоты собственных колебаний. В качестве включающихся связей могут быть использованы жесткие упоры, упругие связи, жесткие панели и провисающие растяжки (рисунок 3).

Эффективность и надежность систем с включающимися и выключающимися связями можно существенно повысить в случае их совместного применения.

В **системах с демпфированием** используется повышенное рассеивание энергии при

колебаниях сооружения. Наиболее простым и эффективным способом уменьшения амплитуд колебания здания при землетрясении является использование *вязких демпферов*. Рассеивание энергии происходит при движении поршня в вертикальном и в горизонтальном направлениях (рисунок 4).

К системам с элементами повышенной пластической деформации относятся так называемые *энергопоглотители*, способные поглощать энергию сейсмических воздействий за счет развития в материале конструкций неупругих деформаций. Их достоинством является то, что они имеют небольшие размеры, могут использоваться в сооружениях различных конструктивных схем и легко заменимы в случае необходимости.

*Демпферы сухого трения* могут применяться в системах сейсмоизоляции в зданиях с первым “гибким” этажом, с высоким свайным ростверком и с кинематическими фундаментами.

**Системы с гасителями колебаний** наиболее широко изучены и применены на практике.

*Динамические гасители колебаний (ДГК)* относятся к специальным устройствам, применяемым для снижения уровня вибраций защищаемой конструкции. При работе гасителя энергия колебаний защищаемой конструкции передается гасителю, который благодаря этому колеблется с повышенной амплитудой.

По характеру взаимодействия гасителя с защищаемой конструкцией различают *ударные* и *динамические* гасители колебаний.

Теория *ударных гасителей* разработана достаточно полно. Для виброзащиты сооружений ударные гасители колебаний применяются уже давно. Простота устройства и надежность в эксплуатации делают эти гасители удобными для применения в башенных сооружениях.

*Динамический гаситель* в простейшем исполнении представляет собой массу на пружине, с помощью которой он крепится к объекту защиты. Динамические гасители колебаний считаются одним из наиболее эффективных СПГК, способных подавлять установившиеся вынужденные колебания конструкций при моногармоническом возмущении, а также при гашении колебаний, которые несут резонансный характер в конструкциях, обладающих малым затуханием.

В зависимости от конструктивного выполнения упругой связи динамические гасители подразделяются на три группы: *пружинные, маятниковые и комбинированные* (рисунок 5).

Пружинный гаситель состоит из массивного блока, который опирается на перекрытие здания через скользящие опоры (пластины с достаточно низким коэффициентом трения), и стальных пружин, размещаемых между блоком и несущими конструкциями сооружения или специальными упорами. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается за счет сил сухого трения в скользящих опорах, возникающих при относительных перемещениях массы гасителя.

Маятниковый гаситель состоит из блока, подвешенного на жестких тросах, которые жестко заделаны в точках подвеса. Частота собственных колебаний маятникового гасителя регулируется изменением длины тросов, а затухание в гасителе обеспечивается за счет внутреннего трения, возникающего при изгибных деформациях верхней части тросов при колебаниях массы гасителя.

Комбинированный гаситель состоит из блока, который крепится к несущим конструкциям здания с помощью гибких подвесок и стальных пружин. Частота собственных колебаний комбинированного гасителя регулируется за счет изменения жесткости стальных пружин. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается установкой вязких демпферов. В роли упругих элементов, кроме пружин, могут быть использованы гибкие стержни или пластинки различного очертания.

Достоинством систем пассивного гашения колебаний является высокая надежность, постоянная готовность к работе, простота конструкции и эксплуатации, отсутствие энергозатрат.

Таким образом, главной целью систем сейсмозащиты зданий и сооружений должны быть решения по снижению сейсмического воздействия на систему “здание + фундамент”, а затем по изолированию (демпфирование, перераспределение и т.п.) отдельных частей здания от передавшихся на систему сейсмических воздействий.

Следует отметить, что традиционные методы и устройства сейсмоизоляции отдельных частей, например, верхнего строения от фундамента, покрытия от стен и т. п., имеют множество решений. В то же время методы и устройства, снижающие сейсмическое воздействие на систему в целом, разработаны недостаточно. В действующих нормативных документах [4–6 и др.], а также во многих публикациях даются полезные рекомендации по сейсмостойким конструктивным решениям верхних строений из разных материалов, но практически полностью

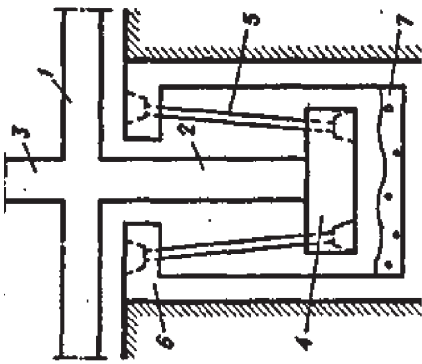


Рисунок 2. Сейсмоизолирующий фундамент с подвижными опорами [7]:  
1 – ростверк; 2 – опора под колонну; 3 – колонна; 4 – плита под опорой;  
5 – преднапряженный железобетонный тязь; 6 – верхняя плита колодца; 7 – слой песка.

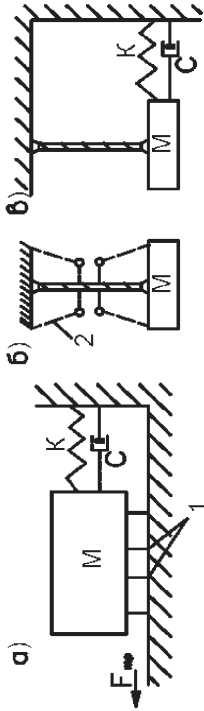


Рисунок 4. Системы с динамическими гасителями колебаний [7]:  
а) пружинного типа; б) маятниковоого типа; в) комбинированного типа;  
1 – скользящая опора; 2 – промежуточная опора.

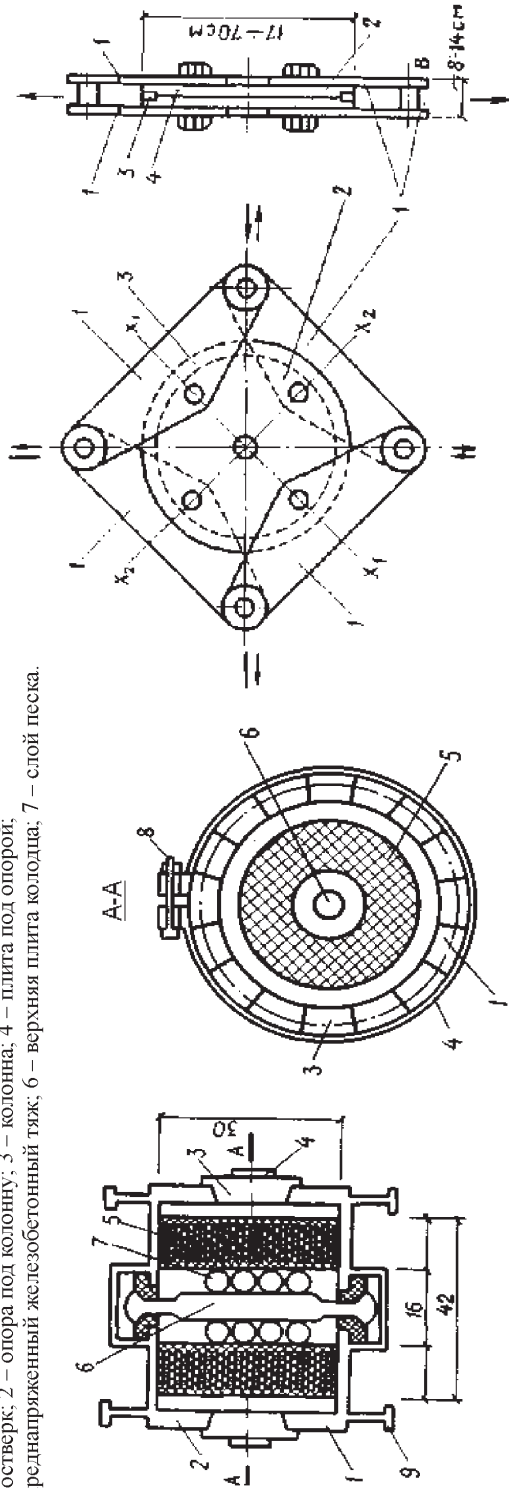


Рисунок 5. Схема демфера вязкого типа [7]:  
1 – подвижная пластина; 2 – вращающийся диск;  
3 – резиновая прокладка;  
4 – слой материала повышенной вязкости.

Рисунок 3. Конструктивная схема опоры с выключающимися связями жесткости и с выключающимися подаглыми слоистыми опорами [7]:  
1 – нижняя часть кожуха; 2 – верхняя часть кожуха; 3 – клин;  
4 – запорное кольцо; 5 – резинометаллическая опора;  
6 – стабилизирующий стержень; 7 – стабилизирующие кольца;



отсутствуют положения о влиянии внешней сейсмоизоляции как приема уменьшения сейсмического воздействия на систему “фундамент-сооружение”.

В Кыргызстане накоплен определенный опыт применения системы сейсмоизоляции со скользящим поясом в фундаменте. Для внедрения в практику проектирования и строительства других типов систем сейсмоизоляции, например, с гасителями колебаний, требуется проведение большого комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, которые могут быть выполнены специалистами КНИИПС и КРСУ в содружестве с проектировщиками. Поисковые работы в этом направлении уже ведутся.

### *Литература*

1. *Уздин А.М. и др.* Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений. СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1993. 176 с.
2. Конструктивная сейсμβезопасность зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях: препринт / под ред. Н.П. Абовского. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2009. 186 с.
3. *Айзенберг Я.М.* Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. 232 с.
4. СП 31-114-2004. Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах. Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2005. 50 с.
5. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах: Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Министерство регионального развития РФ. М., 2011. 88 с.
6. СНиП КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Гос. агентство по арх. и строит. при правительстве КР. Бишкек, 2009. 102 с.
7. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / сост. Л.С. Чигринская. Ангарская гос. тех. акад. Ангарск: Изд-во АГТА, 2009. 107 с.