

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: И.о. ректора  
Дата подписания: 19.08.2023 02:55:02  
Уникальный программный ключ:  
2a04b1b92c3a11473066e14a2ed91e5a84a

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА «АРХИТЕКТУРА»**

**АБАКАРОВ А.Д., ОМАРОВ Х.М., ГАСАНОВ Р.Г.**

**СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ  
СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

**для студентов бакалавриата направления подготовки 08.03.01  
«Строительство», 07.03.01 «Архитектура» и специальности 08.05.01  
«Уникальные здания и сооружения»**

**Абакаров А.Д., Омаров Х.М., Гасанов Р.Г.** Системы специальной сейсмозащиты зданий и сооружений. Учебное пособие для студентов бакалавриата направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 07.03.01 «Архитектура» и специальности 08.05.01 «Уникальные здания и сооружения» – Махачкала, ДГТУ, 2020. – 132 с.

Учебное пособие содержит классификации, конструктивные решения, описание принципов работы и эффективности специальных систем сейсмозащиты зданий и сооружений.

Учебное пособие предназначено для студентов бакалавриата направления подготовки 08.03.01 «Строительство», 07.03.01 «Архитектура» и специальности 08.05.01 «Уникальные здания и сооружения»

**Рецензенты:** 1. Умалатов Р.А., зав. отделом Комитета по архитектуре и градостроительству Республики Дагестан  
2. Юсупов А.К., д.т.н., профессор кафедры строительных конструкций и ГТС ДГТУ

Печатается согласно постановлению Ученого совета Дагестанского  
государственного технического университета  
от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕЙСМОЗАЩИТЫ</b> .....	7
1.1. Классификация как средство компактного представления сейсмозащиты.....	7
1.2. Специальная сейсмозащита на основе изменения сил упругости.....	9
1.2.1. Системы с упругими опорами и амортизаторами.....	9
1.2.1.1. Системы с «гибкой нижней частью» строительного объекта.....	9
1.2.1.2. Системы на базе металлических опор сжатия (пружины).....	12
1.2.1.3. Системы на базе подвесных опор.....	18
1.2.1.4. Системы на базе резинометаллических опор.....	23
1.3. Специальная сейсмозащита на основе сил внешнего и внутреннего трения.....	28
1.3.1. Системы с малым трением качения или скольжения.....	28
1.3.1.1. Шаровые опоры.....	28
1.3.1.2. Шаровые сфероиды или стойки со сферическими концами.....	33
1.3.1.3. Опоры или пояса скольжения.....	36
1.3.2. Системы с повышенным трением или демпфированием.....	42
1.3.2.1. Демпферы сухого трения на базе песчаных или глинистых подушек.....	42
1.3.2.2. Демпферы сухого трения на базе сухих стыков.....	49
1.3.2.3. Пластические шарниры.....	55
1.3.2.4. Элементы повышенной деформативности (энергопоглотители).....	61
1.3.2.5. Экструзивные демпфера.....	67
1.3.2.6. Демпфера вязкого трения.....	72
1.4. Активная сейсмозащита на основе программного изменения силового воздействия.....	82
1.4.1. Адаптивные системы.....	82
1.4.1.1. С выключающимися связями.....	82
1.4.1.2. С включающимися связями.....	88
1.4.2. Системы с гасителями колебаний.....	95
1.4.2.1. Маятниковые гасители.....	95
1.4.2.2. Скользящие гасители.....	100
1.4.2.3. Комбинированные гасители.....	104
1.5. Комбинированные варианты систем сейсмозащиты.....	108
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	117

## ВВЕДЕНИЕ

Сильные землетрясения представляют большую опасность для человечества. Прежде всего они разрушают здания и сооружения, где живут, работают, учатся, лечатся и отдыхают люди. Это приводит к большим человеческим жертвам и материальным потерям.

Вопросы сейсмозащиты имеют глубокие исторические корни [1,2], но значимые результаты по их теоретическим исследованиям и практическим решениям начали получать только в последнее столетие. Люди научились определять силу и параметры возможных землетрясений, характер их воздействия на здания и сооружения, работу конструкций при сейсмических воздействиях. В итоге была разработана методика расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость и предложен комплекс антисейсмических мероприятий, позволяющие с определенной достоверностью обеспечить сейсмостойкость зданий и сооружений. Но не всегда желаемое соответствовало действительному. Последствия некоторых землетрясений выявили ошибки в определении их силы, а также в объемно-планировочных и конструктивных решениях зданий и сооружений. Возникла потребность в системах сейсмозащиты, менее чувствительных к разбросу параметров воздействия и конструкций, в то же время и более экономичных и надежных. Десятки стран мира занимались этой проблемой. Было предложено десятки разных подходов и методов сейсмозащиты (сейсмоизоляции) зданий и сооружений. Только ограниченное число из предложенных оказались дееспособными, т.е. соответствующими требованиями конструктивного воплощения, надежности и эффективности.

В данном учебном пособии рассмотрены основные из них, нашедшие практическое применение или рекомендованные к внедрению.

Для начала отметим, что в строительной практике, сейсмозащиты условно подразделяется на два основных направления: **традиционная и специальная сейсмозащиты.**

**Традиционная сейсмозащита** в основном осуществляется путем снижения массы, изменения жесткости конструкций, элементов, увеличения прочности используемых материалов и дополнительного армирования стен, узлов сопряжения отдельных элементов и, наконец, посредством предварительного напряжения и выгибания отдельных несущих конструкций строительного объекта. В основном проводимые мероприятия осуществляются для придания дополнительной прочности строительной системе и только, в случае снижения массы, для снижения сейсмической нагрузки. [3-4]

**Специальная сейсмозащита** осуществляется за счет изменения гибкости (податливости), трения и силового воздействия в специальных конструктивных элементах и системах, как правило, располагаемые между самим строительным объектом и его фундаментом. В данном случае элементы антисейсмической направленности вводятся для снижения сейсмического воздействия на строительный объект. Конструктивно они как бы изолируют защищаемую часть строительного объекта от сейсмического воздействия. Отсюда у специальной сейсмозащиты второе название - сейсмоизоляция. Снижение сейсмического воздействия, по сравнению с традиционными методами, лучше обеспечивает необходимую сейсмостойкость строительной системе. [3-6]

Среди основных недостатков существующей сейсмозащиты следует отметить ее относительно низкий уровень эффективности и надежности. Дело в том, что, несмотря на то, что во многих странах Мира мероприятия по сейсмозащите строительных объектов являются обязательными, после сильных землетрясений всегда имеют место разрушения, жертвы и погибшие. Налицо несоответствие: потребности сообщества стали выше, естественно, выросли и требования, предъявляемые к сейсмозащите, а качество самой сейсмозащиты, к сожалению, пока

остаётся на прежнем уровне. Причина несоответствия проста и заключается в непредсказуемости сейсмического воздействия и в архитектурно-конструктивном многообразии строительных систем, так как именно они влекут за собой высокий уровень неоднозначности и неопределённости. В результате любые наши конструктивные решения приобретают статус предположения или догадок, правильность которых мы можем определить только тогда, когда разрушительное землетрясение уже произошло и когда мы уже ничего изменить, не можем. Отсюда очевидный вывод - снизить конструктивными мероприятиями существующую неопределённость и неоднозначность до приемлемого сообществом уровня. Следует отметить, что понятие приемлемого уровня исключает показатель гарантии надёжности в 100% и сводит её к значениям, когда наличие жертв и уровень материальных (экономических) потерь сообщество может для себя принять приемлемым [10-15].

Известно, что сейсмическое воздействие - это механическое воздействие сейсмических волн на сейсмоизолируемый строительный объект. Сейсмические волны рождаются в очаге землетрясения и за счёт физических преобразований в грунте трансформируются в волны с индивидуальными особенностями. При этом мощность и длина волн, порождаемых землетрясением, определяется величиной тектонического взаимодействия (величиной разрыва), а частотный спектр - физическим преобразованием в грунте. [15-18]

Заметим, что землетрясения (или сотрясения земли) - это подземные толчки и колебания поверхности Земли, вызванные естественными причинами, главным образом, тектоническими процессами. Причиной землетрясения является быстрое смещение участка земной коры как целого в момент пластической (хрупкой) деформации упруго напряжённых пород в очаге землетрясения. Большинство очагов землетрясений возникает вблизи поверхности Земли. Скольжению пород вдоль разлома вначале препятствуют силы трения. Вследствие этого, энергия, вызывающая движение скольжения накапливается в форме упругих напряжений пород. Когда напряжение достигает критической точки, превышающей силу трения, происходит резкий разрыв пород с взаимным смещением, накопленная энергия, освобождаясь, вызывает волновые колебания поверхности земли - землетрясения. Землетрясения могут возникать также при смятии пород в складки, когда величина упругого напряжения превосходит предел прочности пород, и они раскалываются, образуя разлом. [15-18].

Сейсмические волны, порождаемые землетрясением, распространяются во все стороны от очага подобно звуковым волнам. Особенностью распространения упругих волн является то, что по мере удаления от очага интенсивность волн уменьшается. Кроме этого, при косом падении на поверхность раздела сред с различными параметрами (скоростями и плотностями) волны одного типа частично отражаются, частично проходят в другую среду преломляются. Отражённые и преломлённые волны, за счёт явлений интерференции, накладываются друг на друга, что ведёт к тому, что на каких-то участках волны усиливаются, а на каких-то ослабляются. В результате чего, к строительному объекту подходит набор сейсмических волн, образующих индивидуальный ансамбль волн с частотами от 0.0001 Гц до 100 Гц. [15-20]

Как видим технически мы не можем повлиять ни на тектонические процессы, а значит, и на параметры землетрясения, ни на место действия (геологию) - это пока выше человеческих возможностей.

Сейчас надёжность сейсмозащиты строительных объектов строится из логического предположения, что если объект запроектировать с учётом реально наблюдаемого сейсмического воздействия (акселерограммы), то он выдержит и другое похожее сейсмическое воздействие.

Однако чтобы отмечаемое предположение стало реальным фактом, а не просто

предположением, строительный объект подвергается динамическому испытанию вибромашинной. К сожалению, вибрационные испытания сложны и дороги, поэтому проводятся не всегда и не на всех объектах. К тому же, из-за больших нагрузок, места приложения вибрационного воздействия, как правило, разрушаются, что требует последующего ремонта.

Для повышения надежности строительных систем, расчет можно производить не на одно, а на большее число сейсмических воздействий, с учетом трещин, нелинейной работы в элементах и конструкциях и даже с выходом из строя ряда отдельных конструкций. По крайней мере, современные вычислительные комплексы это позволяют делать. К сожалению, на практике оно пока используется и применяется лишь отдельными энтузиастами. Однако есть надежда, что со временем данное предложение станет для строителей нормой, хотя оно может увеличить расходы на обеспечение сейсмичности.

Зачем это нужно? Дело в том, что сильные землетрясения не происходят в одиночку. Обычно их сопровождают форшоки (предшествующие) и афтершоки (последующие толчки). Это меньшие по параметрам толчки, но их больше по количеству. Так при землетрясении в Японии (11.IV.2011) основному толчку 9 марта предшествовал один форшок с магнитудой в 7.2 балла и три с магнитудой в 6 баллов. А после основного толчка - было более четырехсот афтершоков с магнитудой в 4.5 балла, три из которых были соответственно в 7.0, 7.4 и 7.2 балла. [21-22]

В результате, в отдельных узлах и элементах появляются микротрещины, проявляются пластические явления, которые по мере последующих воздействий накапливаются и переходят в новые, нежелательные для нас, качества - к разрушению ответственных элементов узлов системы и отклонению работы строительной системы от расчетной модели. Как следствие, все это ведет к непредсказуемому поведению строительной системы при сильных сейсмических воздействиях и низкому уровню эффективности и надежности сейсмозащиты.

В силу своих конструктивных особенностей: малой жесткости или малого трения, системы сейсмоизоляции обладают высокой податливостью. А значит, для раскачки строительного объекта требуют гораздо меньшей энергии. По существу сейсмоизоляция - это готовый испытательный стенд, который через пояса усиления, располагаемые над системами сейсмоизоляции, позволяет подводить интересующее нас динамическое воздействие к защищаемой части строения. Таким образом, динамические испытания будут точнее отражать действительность и, что не менее важно, они становятся значительно дешевле.

По мере накопления данных, будет расти и точность нашего прогноза по поведению строительных систем при сильных землетрясениях.

У специальной сейсмозащиты имеются и свои недостатки, среди которых особого внимания заслуживают следующие:

Снижение эффективности при длинопериодных сейсмических воздействиях.

Необходимость комбинирования систем и элементов между собой.

Разное конструктивное исполнение и работу на разных физических принципах, что исключает возможность их прямого и непосредственного сравнения и сопоставления между собой.

Относительно высокая интенсивность.

И, наконец, из-за взаимодействия и взаимовлияния систем, появляется масса дополнительных и сопутствующих факторов, напрямую или косвенно влияющих на поведение строительного объекта, как при обычных условиях его работы, так и при действии сейсмического воздействия.

Для снижения неоднозначности и неопределенности, связанную с многообразием активных систем, в работе дана классификация систем сейсмозащиты. С одной стороны, это обеспечивает

возможность на базе отдельных групп (классов) заранее определить место и принципиальные особенности конкретного типа (образца), с другой - на базе наиболее характерных представителей группы иметь представление о возможностях всей группы. Такой подход позволяет студентам облегчить изучение имеющего разнообразия специальных систем сейсмозащиты.

Данное учебное пособие подготовлено на основе работы Мартынова Н.В. «Активная сейсмозащита: варианты развития и критический анализ практических возможностей». Симферополь, 2013. – 266 с., где в более широком аспекте рассмотрены активные системы сейсмозащиты объектов строительства.

## **1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕЙСМОЗАЩИТЫ**

### **1.1. Классификация как средство компактного представления сейсмозащиты**

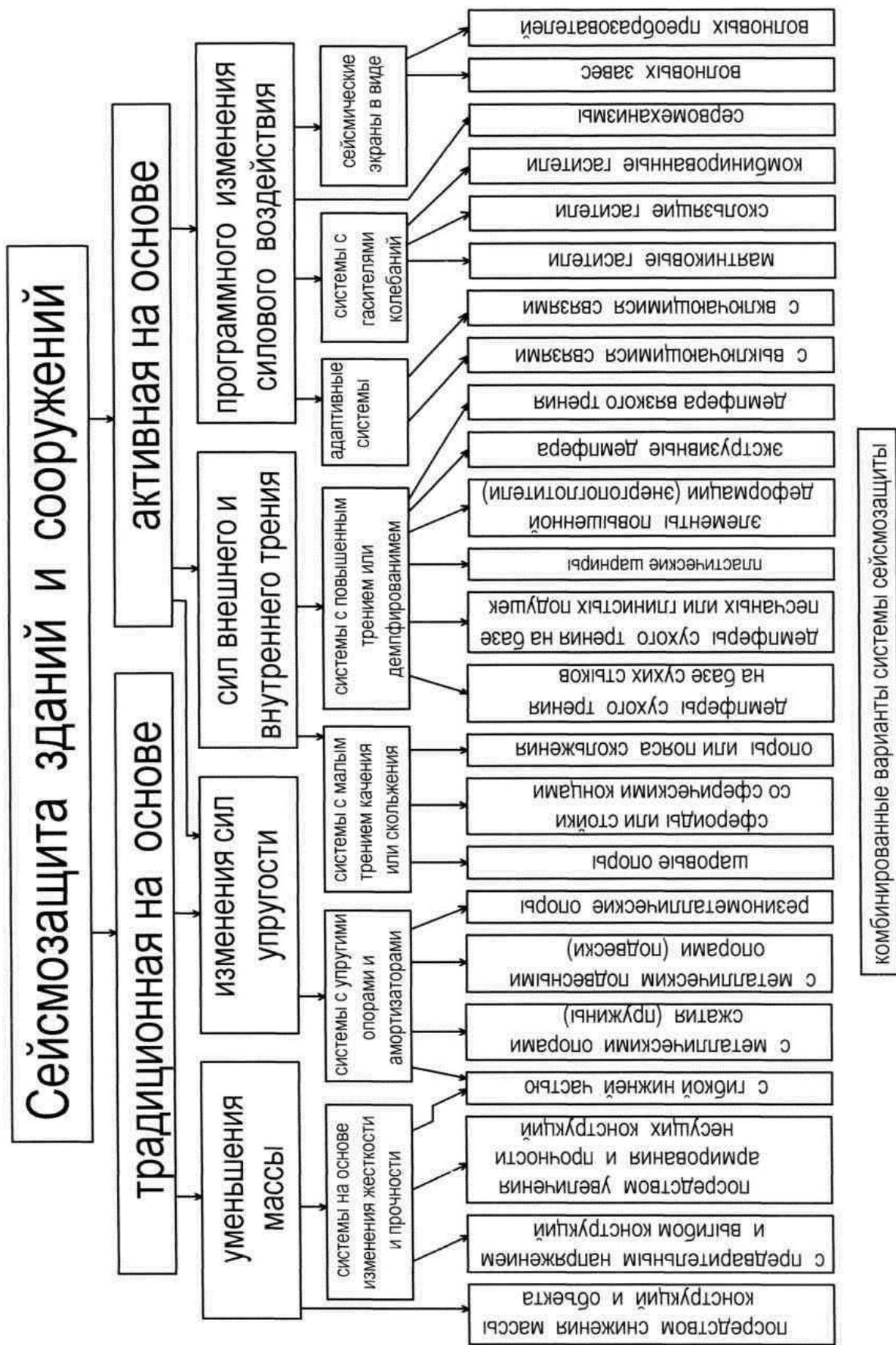
Современное классифицирование систем активной сейсмозащиты основано на принципе работы сейсмозащиты, ее конструктивных узлов и элементов (системы с упругими амортизаторами и опорами; со скользящими поясами или скользящими опорами; с повышенными диссипативными характеристиками и т.д.);

реже – на конструктивном исполнении (рамочные или кольцевые энергопоглотители, стойки со сферическими поверхностями торцов и т.д.).

Однако при этом в классификации не просматриваются закономерные связи между классами объектов и свойствами каждого объекта (в том числе место в классификации). Положительным примером такого классифицирования систем сейсмозащиты может служить классификация, приведенная Г.А. Казиной и Л.Ш. Килимником в обзоре «Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений», а также в книге Полякова В.С. «Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений». [2-3]

Более полная классификация систем сейсмозащиты данная в работе [4] приведена на рис.1. Вначале система сейсмозащиты подразделены на традиционную и активную сейсмозащиту. Затем, активная сейсмозащита подразделена на системы на основе использования массы и сил упругости, сил внешнего и внутреннего трения и системы с программным изменением силового воздействия. В свою очередь, системы на основе сил внешнего и внутреннего трения подразделяются на системы с большим и малым трением, а системы с программируемым изменением силового воздействия - на адаптивные системы и системы с гасителями колебаний. На последнем уровне осуществляется конструктивная детализация сейсмозащиты.

Таким образом, местоположение конкретного вида сейсмозащиты в классификации позволяет заранее объективно определить ее физическую сущность и основные возможности. Автор работы [4] считает, что чтобы иметь корректное и адекватное представление о практических возможностях всех имеющихся в природе системах и элементах сейсмозащиты, нам вовсе ненужно их все исследовать, анализировать и сопоставлять между собой. Для этого вполне достаточно ограничиться лишь наиболее характерными представителями групп. Связано это с тем, что любой представитель классификации дает общее представление об особенностях и возможностях всей группы, к которой он относится. Больше того, если при этом еще учесть и практическую целесообразность, то общее рассмотрение можно еще более ограничить, сведя его к рассмотрению и исследованию всего нескольких систем и таким образом существенно сократить время поиска интересующего нас варианта сейсмозащиты.



**Рис. 1.0. Классификация систем и элементов сейсмозащиты зданий и сооружений**

## 1.2. Специальная сейсмозащита на основе изменения сил упругости

### 1.2.1. Системы с упругими опорами и амортизаторами

#### 1.2.1.1. Системы с «гибкой нижней частью» строительного объекта

Идея снижения сейсмического воздействия на строительный объект за счет упругой податливости или подвижности (смещения) каркаса, его элементов и узлов лежит в основе целого ряда систем активной сейсмозащиты. Основным преимуществом такой сейсмозащиты является ее простота и дешевизна.

Сама по себе, идея не нова – у нее многовековой опыт практической реализации. Еще за тысячу лет до новой эры, по отмечаемому принципу работы несущих конструкций, строились каркасно-глиняные в Древнем Египте [1], в Китае [2], в Индии [3]; ближе к нам по времени – на Кавказе и в Средней Азии [4-5]. Причем данным способом возводилось дворцы вельмож, стены крепостных сооружений, жилье бедняков. Прошли тысячелетия, но и сейчас, в частном секторе, нередко строятся каркасно-глиняные дома. [6-7]

Основой отмечаемых объектов является деревянный каркас с заполнением из местных материалов; обожженного и необожженного кирпича, саманной массы и т.д. Потом вся конструкция обмазывается глиной и, после высыхания, покраски, получается довольно теплые, удобные и недорогие дома (Рис. 1.1, а-д). Кровля делается из соломы или выполняются по тому же каркасно-глиняному принципу. [8]

Слабым местом сооружений оказалась раздельная работа гибкого каркаса и жесткого глиняного заполнения, которое при сотрясениях просто вываливается из плоскости каркаса. Сам же деревянный каркас во множестве землетрясений доказал свою высокую эффективность и надежность. Чтобы подтвердить высокую сейсмостойкость каркасно-глиняных домов, можно отметить, например, что обследование после Дагестанского землетрясения 1970 года [5] и Газлийского землетрясения 1976 года [4] таких домов, позволило специалистам сделать вывод, что разрушение каркасно-глиняных домов наступает при максимально расчетном по СНиП землетрясении в 9 баллов. А значит, сейсмостойкость отмеченных зданий ничуть не меньше сейсмостойкости обычных домов из обожженного кирпича. [9-12]

В класс систем на основе изменения сил упругости, входит группа систем с упругими опорами и амортизаторами и частично группа систем с малым трением качения с кинематическими опорами на базе сфероидов и стоек со сферическими поверхностями концов. В свою очередь, группа систем с упругими опорами и амортизаторами подразделяется:

**на системы с «гибкой нижней частью» несущих конструкций; системы с «пружинами или подвесными опорами»;**

**и системы с «резинометаллическими опорами».**

Так как у строительного объекта гибкими, податливыми могут быть элементы и узлы каркаса не только первого этажа (Рис. 1.2, а), то в строительном обиходе системы нередко так и подразделяют на системы с «гибким, свайным фундаментом» (Рис. 1.2, г-д), с «гибким подвалом» (Рис. 1.2, ж-з) и т.д. Однако, в целом, все это системы с «гибкой нижней частью».

В целом, идея основывается на представлении, что при всех землетрясениях сейсмическая реакция зданий с гибкой конструктивной схемой всегда меньше, чем у зданий с жесткой конструктивной схемой. Достигается это за счет использования присущей материалам несущих элементов гибкости, податливости и путем конструктивного обеспечения во время землетрясения элементам каркаса или оголовкам свай возможности свободного смещения на

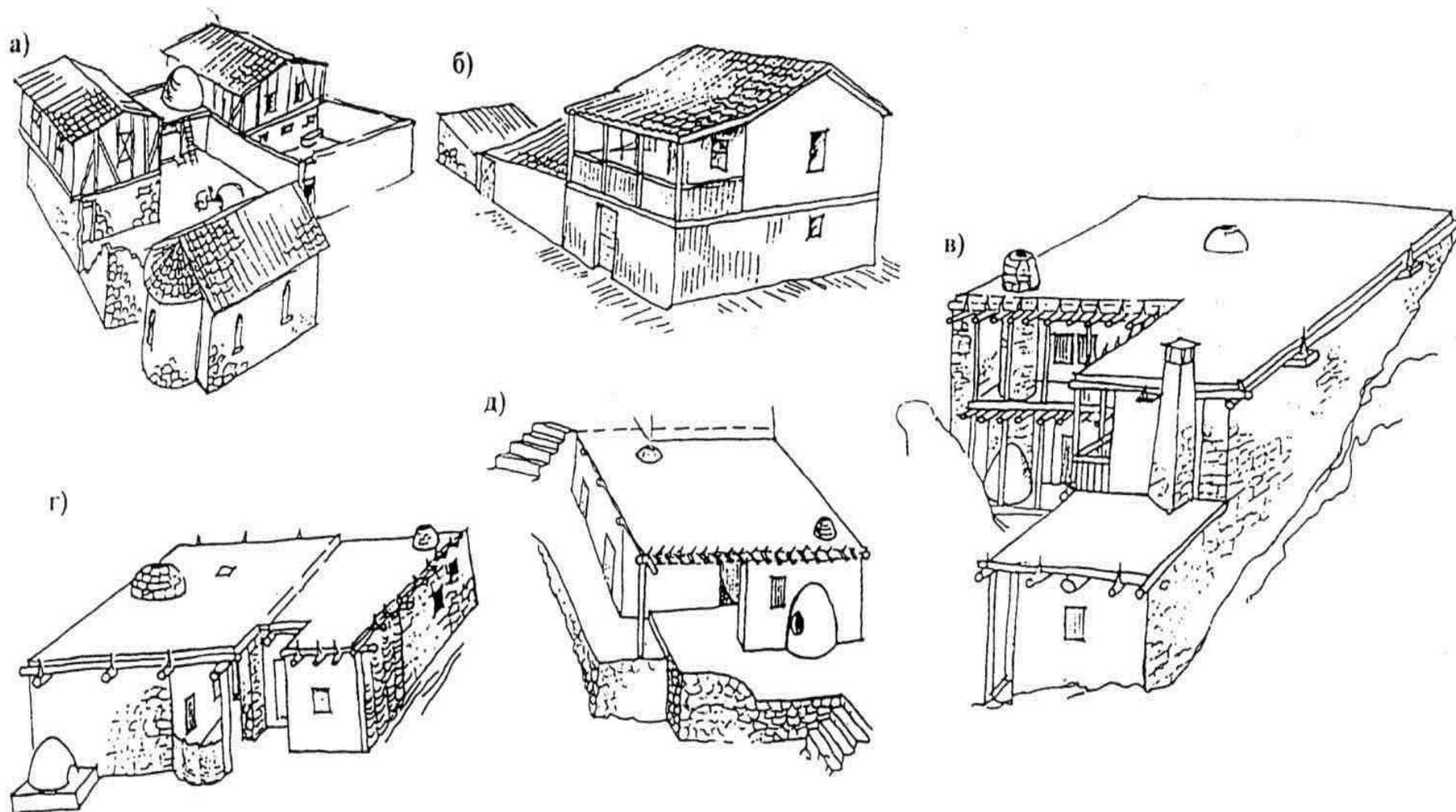
уровне земли или первого этажа. Вследствие чего, во время землетрясения несущие опорные элементы могут двигаться независимо друг от друга в соответствии со сложным, хаотическим движением грунта, что и уменьшает сейсмическое воздействие на здание. [13-14].

Своим появлением системы сейсмозащиты с «гибким свайным фундаментом» (Рис. 1.2, г-д) обязаны плохим грунтам и их высокой обводненности. Классическим примером сказанного может служить Гереон (храм Геры), построенный в VIII в. на Пелопоннесе, в Олимпии который возводился на плохих грунтах, образовавшихся в результате намыва горной реки. Коренной грунт залегал глубоко, а поверхностные слои были глинистыми плавунками с близким залеганием к поверхности уровня грунтовых вод. К тому же это сейсмически активный район. Поэтому Гереон был поставлен на искусственную платформу, построенную из часто забитых свай, пространство между которыми было забито щебнем и речной галькой. На эту площадку были уложены каменные плиты цоколя храма, а уже на них возведены стены храма. Несмотря на недолговечный материал, благодаря своевременным ремонтам, с заменой деревянных колонн на каменные, храм простоял более тысячи лет. [15]

Аналогичный подход к решению проблемы прослеживается в сейсмостойком фундаменте по а.с. СССР № 522307 E02 D 27/34 (Рис. 1.2, е). Здесь с целью повышения сейсмостойкости здания, в технологические разрывы ленточного фундамента вводятся оголовки свай.

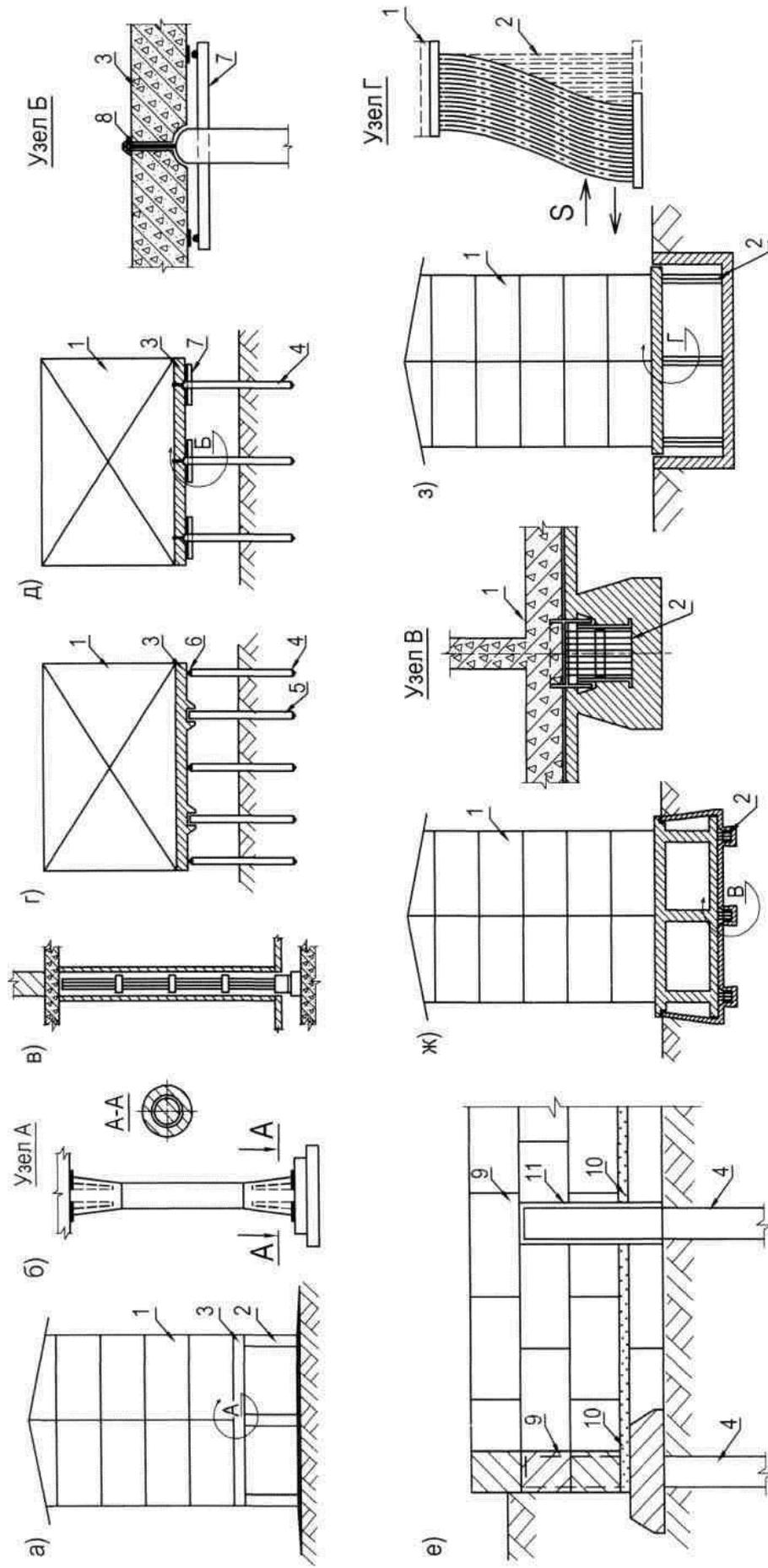
Для Венеции выбор свайных фундаментов с высоко выступающим расположением оголовка свай был предопределен местоположением города. Венеция, как известно, расположена на 118 островах Венецианской лагуны, разделенных между собой 150 каналами [16]. Таким образом, в основе отмечаемой практической реализации строительных объектов лежат геологические условия и отсутствие у строителей возможности выбора площадки строительства. Во многих случаях, теми же причинами и соображениями продиктована конструктивная реализация целого ряда аналогичных строительных объектов в Китае, Индии, Юго-Восточной Азии.

Современные решения, например, по а.с. СССР № 1161662 и № 540970 E02 D 27/34 и D 27/12 (Рис. 1.2, г-д), в общем-то, за исключением материала свай и технологии возведения, аналогичны своим историческим предшественникам.



**Рис. 1.1. Здания с гибкой каркасно-глинянной основой на примерах крымского жилья:**  
 А) двухэтажный дом татов (Деревня Шелень судакского района); б) средневековый жилой дом (по материалам раскопок на Эксикермене); в) двухэтажный дом (деревня Шелень Судакского района); г) дом в деревне Шелень Судакского района); д) дом в деревне Верхний Ай-василь (Ялта)





**Рис. 1.2. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты с "гибкой нижней частью":**

с "гибким первым этажом" вариант : а) железобетонных опор, б) по а.с. СССР № 510577, д) по патенту Японии № 7663/77, со "свайным фундаментом" варианты: г) по а.с. СССР № 1161662, д) по а.с. СССР № 540970, е) "ленточный фундамент" по а.с. СССР № 522307, с "гибким подвалом", вариант по патенту Японии: ж) № 41845/72, з) № 43029/74 (все М. кл. Е 01 d27/34 и h9/02);

1 - строительный объект, 2 - гибкие опоры, 3 - обвязочная балка (ростверк), 4 - основные сваи, 5 - сваи-ограничители, 6 - шарнирный узел, 7 - ограничитель угла поворота сваи, 8 - тяги обжатия, 9 - блоки ленточного фундамента, 10 - деформационный шов, 11 - конструктивный зазор.

Использование зданий и сооружений с «гибким первым этажом» на базе железобетонного или металлического каркаса (Рис. 1.2, а-в), связано с заменой дерева на более индустриальные материалы - металл и железобетон, а материала каркасного заполнения - на камень и обожженный кирпич. При этом, в современных решениях, конструктивно «гибкая нижняя часть» выполняется как без заполнения, так и с частичным стеновым заполнением. К сожалению, усиление гибкого этажа приводит к ужесточению системы и изменению ее динамических параметров, что напрямую сказывается на сейсмоизолирующих свойствах сейсмозащиты.

Своему широкому распространению в строительной практике сейсмозащита с «гибким первым этажом» обязана своей конструктивной простоте, дешевизне, эффективности и надежности. Однако последствия ряда сильных землетрясений, анализ их записей указали на возможность возникновения при некоторых землетрясениях весьма заметных ускорений в области периодов до 1-2 с, а иногда даже и до 4-5 с. В случае расположения строительных объектов с «гибкой нижней частью» в зоне таких землетрясений возможны их катастрофические разрушения, что и произошло в Каракасе (Венесуэла) в 30.УП.67, в Агадире (Марокко) 29.П.60, Скопле (Югославия) 26.УП.63 Бухаресте (Румыния) 4.Ш.77 г. [17-18]. Учитывая, что землетрясения с преобладанием низкочастотных колебаний достаточно редки, объекты с «гибкой нижней частью» могут использоваться как средство активной сейсмозащиты, но только в сочетании с другими дополнительными средствами, например, в сочетании с включающимися или выключающимися связями, демпферами и т.д. [13-14, 19]

Затем, из-за несовпадением центра масс с центром жесткости, явлений изгиба и закручивания строительного объекта вокруг своей оси, вызванных пространственным, динамическим характером сейсмического воздействия, крайние и угловые элементы сейсмозащиты, по отношению к центрально расположенным, оказываются перегруженными, работающими не только на знакопеременные усилия сжатия, но и знакопеременные усилия изгиба и растяжения. Что с одной стороны, требует их дополнительного усиления, с другой - ведет к дополнительным, конструктивным ограничениям по массе, этажности, размерам и конфигурации объекта.

К сожалению, здания с «гибким нижним этажом» плохо приспособлены и адаптированы на восприятие вертикальной динамической составляющей, хотя опыт реальных землетрясений показывает, что вертикальная составляющая сейсмического воздействия может быть довольно значительной. Так, например, в случае Чилийского землетрясения 1985 г. вертикальное ускорение грунта достигало 0.85 g, при Газлийском 1976 г. - 1,2 g, а при землетрясении в Империял Вэли (штат Калифорния, США) в 1979 г. - 1.66 g [20-22]. Отсюда необходимость обязательного обеспечения комплексного подхода и общей сейсмозащиты строительного объекта.

**В целом, активные системы с «гибким нижним этажом» заслуживают внимания со стороны специалистов, дополнительного научно-технического исследования, так как, несомненно, обладают определенным положительным потенциалом, особенно при их применении и использовании в составе комплексного подхода и обеспечения сейсмозащиты строительных объектов.**

### **1.2.1.2. Системы на базе металлических опор сжатия (пружины)**

Группа активных систем сейсмозащиты строительных объектов на основе изменения сил упругости, прежде всего, строится на использовании возможности основных элементов системы под динамической нагрузкой воспринимать существенные упругие деформации сжатия или растяжения. Отсюда два разных направления конструктивной реализации основной идеи: это **активные системы упругого сжатия и активные системы растяжения.**

В практической реализации первое направление активной сейсмозащиты нам больше известно под названием «**пружинных опор**» или «**опор сжатия**» (Рис. 1.3, б-к), имеющих металлическую, резинометаллическую и резинопластиковую основу реализации. При этом в технике металлические пружинные опоры более известны как амортизаторы, а в качестве резинопластиковых опор понимают гидравлические и пневматические оболочки.

Заметим, что амортизатор от фр. *amortir* означает ослаблять, смягчать - это устройства для смягчения ударов в машинах, сооружениях и т.п. для защиты от сотрясений и ударных нагрузок. В качестве амортизаторов используют пружины, торсионы, резиновые элементы, а так же жидкости и газы. [1]

Второе направление – как «**подвесные опоры**» (Рис. 1.3, а)

Активные системы сейсмозащиты на основе упругих элементов сжатия (Рис. 1.3, б-к) или в виде «пружинных опор» (Рис. 1.3, м), в целом, разработаны по аналогии с устройствами по виброизоляции машин, механизмов, отчасти - по принципу работы упругих элементов звуковых и измерительных приборов. Однако строительный объект не машина и тем более не измерительный прибор, он отличается своим назначением, обладает значительно большей массой, специфическими жесткостными и прочностными свойствами и т.д., следовательно, обладает только ему присущими особенностями. Поэтому автоматический перенос по аналогии каких-либо свойств и технических решений из других областей техники в область сейсмостойкого строительства, без учета особенностей самого строительного объекта и совокупной работы динамической системы не правомерен и не обоснован. Что в большинстве случаев, к сожалению, нам и демонстрирует практический опыт внедрения отмечаемых систем сейсмозащиты. [2-4]

Начнем с нескольких определений.

Упругими элементами называют гибкие детали, основным рабочим свойством которых является способность существенно деформироваться под нагрузкой. Как правило, эти деформации упругие, и после снятия нагрузки элемент восстанавливает свои первоначальные или проектные размеры.

В качестве специальных упругих элементов, наиболее используемых в технике и строительстве для амортизации толчков и ударов, виброизоляции, создания заданных начальных условий, аккумуляции механической энергии, выступают металлические пружины. Материалом для пружин выступает пружинная сталь, а для пружин, работающих в агрессивных средах – бронза. Обычно они изготавливают на пружинонавивочных станках или в ручную, на оправках. [5-8]

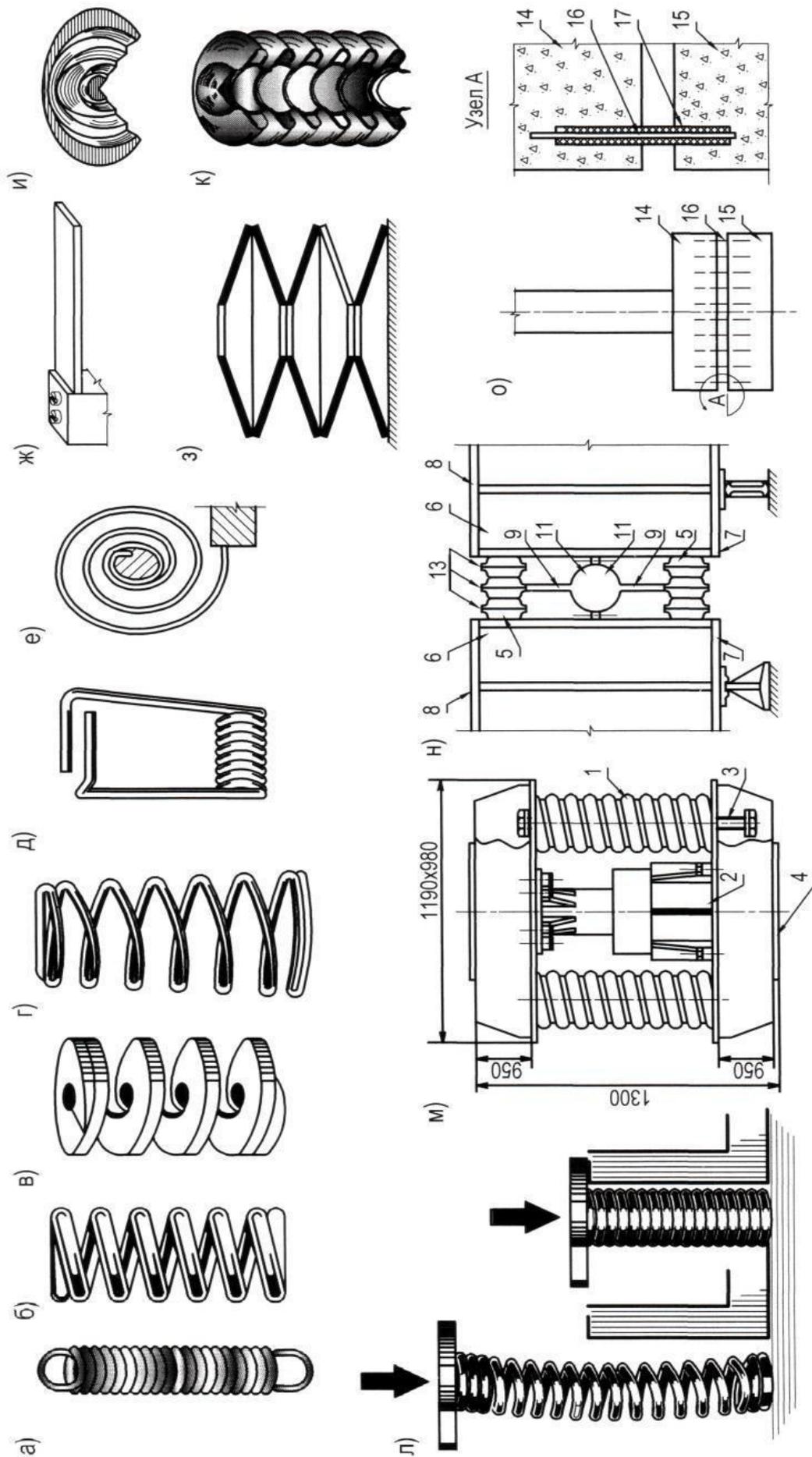
При этом металлические пружины различаются:

**по виду воспринимаемой нагрузки** – пружины растяжения (Рис. 1.3, а), сжатия (Рис. 1.3, б-г), изгиба (Рис. 1.3, д), кручения (Рис. 1.3, д-е); [5, 9]

**по характеру действия нагрузки** – пружины статического действия, ограниченно кратного действия и многократного действия;

**по конструкции** – пружины витые или винтовые (главным образом цилиндрические и конические) (Рис. 1.3, а-б, г-д), спиральные (Рис. 1.3, е), плоские (прямоугольные и круглые) (Рис. 1.3, ж, е);

**по характеристике** - постоянной и переменной жесткости. [5, 9-15]



**Рис. 1.3. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе металлических опор сжатия (пружины):**

по виду воспринимаемой нагрузки упругие элементы подразделяются на винтовые пружины: а) растяжения, б-г) сжатия,

д) кручения, е) спиральные, ж) плоские, з) тарельчатые, пружины, и) мембрана, к) сильфон, л) этапы сжатия пружины,

м) пружинный сейсмоизолятор системы "GERB", (ФРГ), системы: н) по а.с. № 703620 и о) по а.с. № 600252 (все М. кл. Е 01 d27/34);

1 - пружина, 2 - поршневой вязкий демпфер, 3 - болт, 4 - опорная плита, 5 - сильфон, 6 - пролетное мостостроение, 7 - нижний и 8 - верхний пояс, 9 - трубопровод, 10 - сферическая камера и 11 - две ее полушферы, 12 - мембрана, 13 - штуцера,

14 - верхняя и 15 - нижняя опорная часть фундамента, 16 - металлические стержни 17 - эластичная оболочка (резина)

Естественно, что приведенные примеры пружин, являются наиболее часто встречающимися разновидностями, однако они не охватывают всего многообразия применяемых упругих элементов. Так в качестве примера упругих металлических элементов не пружинного типа можно отметить тарельчатые «пружины» (Рис. 1.3, з) [5, 10, 11, 17], мембраны (Рис. 1.3, и) [5, 9,13, 17-18], сильфоны (Рис. 1.3, к) [5, 19].

Иллюстрирующим примером сейсмозащиты на «пружинных опорах» рассмотрим многокомпонентную систему вибро- и сейсмозащиты типа «GERB», разработанную специалистами ФРГ. Конструктивно сейсмозащита довольно проста и представляет собой систему пружинных виброизоляторов 1 (Рис. 1.3, м), поршневого демпфера 2 вязкого трения типа «VES», опорную плиту 4 и болтового крепления 3 к ней. При этом основная функция пружинной системы «GERB» сводится к сглаживанию максимальных (пиковых) значений динамического воздействия, в то время как у поршневого демпфера она, за счет сил вязкого трения, приходится на эффективное рассеивание (демпфирование) энергии силового воздействия. [2-4]

Начало использование системы определяется концом шестидесятых годов двадцатого столетия, в частности, при сейсмоизоляции на о. Тайвань дизельных генераторов. За время эксплуатации они неоднократно подвергались сейсмическим воздействиям и никаких повреждений не было зарегистрировано. В зарубежной строительной практике система «GERB» применяется для сейсмоизоляции турбинных агрегатов АЭС массой до 15000 тон, в частности, она применена в АЭС Мехико (Мексика). Аналогичные системы используются и в Новой Зеландии. В жилищном строительстве ФРГ эта система вибро- и сейсмозащиты использована в более сотни жилых зданий. Преимуществом системы «GERB» является то, что она позволяет снизить реакцию сооружения, как на горизонтальный, так и на вертикальный компонент сейсмического воздействия. При этом ускорения сейсмоизолированного строительного объекта снижаются до 8 раз. [2-4]

Естественно что, как и всякий материальный объект, пружины опор обладают вполне конкретными физическими параметрами, т.е. конкретными упругими и прочностными свойствами, которые являются естественными ограничителями по применению и использованию данных систем в строительной практике. Так если к витой пружине приложить нагрузку, превышающую ее жесткостные параметры, то пружина вынужденно «сядет» на свои витки. В результате чего, вместо многовитковой пружины мы получим полую, цилиндрическую опору, естественно, обладающую физическими параметрами, отличающимися от параметров многовитковой пружины (Рис. 1.3, л). Во избежание отмеченного явления, необходимо на стадии проектирования конструктивно обеспечить условия, при которых нагрузка на конкретную пружину не должна превышать ее упругой возможности. А это значит, что, чем больше будет вес объекта, то тем большее количество упругих опор нам потребуется установить в его основании. В реальных условиях, учитывая значительный вес строительных объектов, это ведет к необходимости установки большого числа (рядов) упругих опор. Причем равномерно установленных опор. Учитывая высокую стоимость изготовления и требуемое количество пружинных опор, это бесспорно отрицательно скажется на себестоимости сейсмозащиты. Понятно также, что вес объекта (массивность) и его габариты являются ограничителями по широкому применению систем в строительной практике. В частности, у узких, вытянутых вверх объектов, например, в виде мачт, дымовых труб и т.д., из-за взаимодействия с импульсным ветровым воздействием, есть значительная вероятность опрокидывания сейсмоизолируемого объекта.

Кроме этого, так как пружины находятся под нагрузкой сжатия, то, в случае выхода пружины из строя, необходимость замены конкретной пружины сопряжена с трудностью ее извлечения и замены. Ведь для этого пружину нужно сжать и доставить до места замены, причем осуществить

все это мы должны в ограниченных условиях подвала, при плотной многорядной установке упругих опор. Вариант замены пружины посредством подъема объекта домкратами не менее сложен и тоже довольно дорог.

Относясь, так же как и системы с «гибкой нижней частью», к одной группе сейсмозащиты, системы с пружинами опорами обладают аналогичными для всей группы конструктивными свойствами и недостатками. В частности, и здесь из-за несовпадения центра масс с центром жесткости системы при сейсмическом воздействии имеют место явления изгиба и закручивания объекта вокруг своей оси. В результате чего, крайние, угловые элементы сейсмозащиты, по отношению к центрально расположенным элементам, оказываются существенно перегруженными. Что негативно сказывается на конструктивных ограничениях по массе, этажности, размерам и конфигурации объекта; ведет к необходимости устройства специальных ограничителей или упоров смещения самого строительного объекта и требует специальных, конструктивных мероприятий по обеспечению необходимой прочности несущим элементам сейсмозащиты.

И, наконец, при импульсном и динамическом воздействии, из-за сил упругости амортизирующей пружины, система некоторое время колеблется относительно своего рабочего положения. При последующих воздействиях на систему силовыми импульсами, происходит накладка силовых импульсов и динамическая система, как качели, раскачивается. Что негативно сказывается и на сейсмозащищаемом объекте и на людях находящихся в строительном объекте.

Из-за повышенной податливости пружинных опор и большой боковой поверхности (парусности), у высотных строений с малой базой основания при импульсном ветровом и сейсмическом воздействиях будет иметь место раскачка верха объекта. Что с одной стороны требует специальных, конструктивных средств по обеспечению общей устойчивости объекта, а с другой

– конструктивных мер по устранению дискомфорта у людей, находящихся в объекте, и связанного с нежелательной раскачкой строительного объекта. Что на практике сложно реализуемо и стоит довольно дорого.

В качестве иллюстрирующих примера в использования упругих металлических элементов не пружинного типа в системах активной сейсмозащиты остановимся на примере использования сиффонов.

Сиффон (от англ. sylphone) – металлическая тонкостенная трубка или камера с гофрированной боковой поверхностью, способная расширяться и сжиматься при изменении давления наполняющего ее газа или жидкости. [1, 20]

Наиболее широко сиффоны применяются в пневмо- и гидроавтоматике в качестве чувствительных элементов, реагирующих (расширение или сжатие, подобно пружине) на изменение давления газа или жидкости, действующего на дно сиффона, а также в качестве гибких соединений трубопроводов, компенсаторов температурных удлинений, упругих разделителей сред и т.п. [5, 19]

Так в соответствии с а.с. СССР № 703620 для повышения стабильности работы устройства в гашении колебаний в разрезных пролетных строениях моста, между торцами смежных пролетных строений 6 (рис 1.3, н), в уровне их нижнего 7 и верхнего 8 поясов вводятся амортизирующее гидравлические приспособления в виде сиффонов 5. При этом сиффоны соединяются между собой через трубопровод 9 и регулятор давления. Регулятор давления, в свою очередь, выполняется в виде сферической камеры 10, образованной двумя полусферами 11, разделенных между собой мембраной 12. Для регулирования давления жидкости в сиффонах 5, сиффоны снабжены штуцерами 13.

Работает устройство следующим образом. При колебаниях пролетных строений б давление жидкости в сифонах 5 меняется, что вызывает деформацию мембраны 12. Это, с одной стороны, ведет к интенсивному гашению энергии колебаний, а с другой стороны, благодаря автономности сифонов блок неразрывных пролетных строений превращается в частично неразрезную систему, одинаково хорошо работающую на любые виды воздействия, передающиеся пролетным строениям.

Таким образом, пролетные строения, по авторской идее, объединенные в секцию посредством сифонов-амортизаторов, представляются в частично неразрезную систему, что приводит к увеличению приведенной массы каждого пролетного строения. Это способствует целенаправленному гашению колебаний за счет деформирования, как сифонов, так и мембраны, параметры которой могут изменяться в широком диапазоне. Кроме того, описанное устройство позволяет сохранить как преимущества разрезной системы, такие как независимость усилий от деформаций опор, независимое температурное распределение и т.д., так и преимущества неразрезных систем – возможность регулирования усилий, использование одной неподвижной, а остальных подвижных опорных частей, что приводит к снижению тормозных усилий, действующих на высокие опоры.

В качестве недостатков представленной системы сейсмозащиты строительных объектов следует отметить сложность ее изготовления (прежде всего сифонов и сферической камеры), необходимость антикоррозионной защиты системы и высокую стоимость.

Затем, особенность установки и сама конструкция сифонов обеспечивает нам восприятия силового воздействия только в горизонтальной плоскости пролетных строений моста и это притом условия, что сейсмические воздействия носят сложный пространственный характер. А это значит, что сейсмозащита строительного объекта не обеспечивается в полном объеме, и мы не достигаем поставленной нами цели комплексной, эффективной и надежной сейсмозащиты объекта.

И, наконец, для обеспечения проезда транспорта и прохода людей по мосту мы обязаны будем между торцами пролетных строений, в месте установки сифонов, поперек всей проезжей части моста организовать еще и конструктивный зазор, т.е. должны преднамеренно организовать искусственный ухаб (колдобину). Ухаб, который в процессе эксплуатации строения, за счет природных явлений (жары, холода, осадков) и проезжающего транспорта будет стремиться к постоянному увеличению. Естественно, что для предотвращения роста ухаба нам потребуются систематический осмотр мостового строения и его ремонт, т.е. на все время эксплуатации строения потребуются организация службы специального контроля за состоянием всех элементов сейсмозащиты и ее своевременного ремонта. Что опять же увеличит общую стоимость сейсмозащиты.

Другим примером применения упругих металлических опор сжатия не пружинного типа рассмотрим новацию по а.с. № 600252. Здесь, с целью увеличения податливости упругого слоя без снижения габаритов фундамента, фундамент выполняется из верхней 14 и нижней 15 (Рис. 1.3, о) опорных частей, выполненных из бетона или железобетона. Между ними размещен упругий слой из металлических стержней 16, замоноличенных в опорных частях. Стержни 16 перед установкой в бетон заключают в эластичную оболочку 17, например, выполненную из резины. При этом эластичная оболочка 17 размещается на каждом стержне 16 между опорными частями и на части длины зоны замоноличивания стержней в опорных частях. Наличие эластичной оболочки на стержнях, и, главным образом, наличие ее в зоне замоноличивания стержней, приводит к тому, что металлические стержни 16, образующие упругий слой, заделаны в бетон не по всей длине, а как бы располагаются в пазах, замоноличенных эластичным материалом. Благодаря пазам увеличивается

длина, а, следовательно, и податливость упругого слоя. Это позволяет при тех же параметрах уменьшить расстояние между опорными элементами и снизить высоту фундамента. Эластичный материал служит одновременно защитой от коррозии и повышает устойчивость стержня.

Упругая податливость системы определяется количеством стержней, их диаметром и высотой в свету между опорными блоками. Что, в свою очередь, определяется весом и габаритами самого строительного объекта:

Чем больше будет вес объекта, тем больше будет и жесткость сейсмозащиты.

Чем больше, габариты строения в плане, тем большие перегрузки при закручивании объекта вокруг своей оси будут испытывать крайние, угловые упругие стержни сейсмозащиты.

Учитывая большие сроки эксплуатации строительных объектов и то, что со временем резина «стареет», т.е. меняет свои физико-механические свойства, уже на стадии проектирования следует предусмотреть дополнительную антикоррозийную защиту упругих стержней сейсмозащиты и возможность со временем полной замены эластичной защиты. Несомненно, что высокая стоимость эластичной защиты (резины) стержней и мероприятия по антикоррозийной защите негативно скажутся на общей себестоимости сейсмозащиты строительного объекта.

Подводя итог рассмотрению, следует отметить, что, несомненно, активные системы сейсмозащиты на базе металлических опор сжатия конструктивно способны пространственно воспринимать, амортизировать сейсмические силовые воздействия. Однако, учитывая большую металлоемкость, конструктивную сложность и сложность изготовления, нежелательную возможность раскачки сейсмоизолируемого объекта и связанную с этим конструктивную необходимость по специальному обеспечению устойчивости строения и по устранению дискомфорта людей, эксплуатационные затраты рассматриваемого, следует признать самостоятельное использование металлических опор сжатия конструктивно и экономически не целесообразным.

**Таким образом, данный тип сейсмозащиты не может быть предложен к самостоятельному, широкому применению в строительной практике. Другое дело их использование в качестве амортизаторов в составе вспомогательных элементов и узлов в других, комплексных системах специальной сейсмозащиты. А это значит, что, пусть косвенно, но металлические системы упругого сжатия могут быть задействованы в общей системе эффективной и надежной сейсмозащиты. Поэтому их надо изучать, исследовать и где надо применять.**

### **1.2.1.3. Системы на базе подвесных опор**

Предложения по использованию систем активной сейсмозащиты на базе опор растяжения имеются как со стороны наших специалистов (Рис. 1.4, а-б, е-ж), так и со стороны специалистов Японии (Рис. 1.4, в), Мексики (Рис. 1.4, д), Испании. Хотя внешне системы отличаются друг от друга, по сути, у них одна и та же конструктивная основа, которая заключается в идее изоляции строительного объекта посредством его подвески на растяжках или тяжах.

Общая конструктивная основа систем предопределяет их общие преимущества и недостатки. В отличие, от ранее рассмотренных упругих опор сжатия, в опорах растяжения отсутствуют сжимаемые упругие элементы, зато присутствуют тяжи, воспринимающие растягивающие усилия от веса амортизируемого объекта и от сейсмического воздействия. При этом наиболее сложным оказывается решение узла крепления подвески несущей опорной системы к самому строительному объекту. Несомненно, технически вполне возможно обеспечить подвеску того или иного строительного объекта, что мы и наблюдаем в мостостроении, в ряде возведенных

многопролетных, спортивных сооружений и т.д. Однако при подвеске зданий и сооружений пришлось бы использовать специализированные инженерные сооружения, стоимость которых, как минимум, соизмерима со стоимостью самого строительного объекта. И это, не считая трудностей, связанных с обеспечением нужного архитектурного вида и инженерно-технического плана, связанных с подводкой и прокладкой инженерных сетей, коммуникаций и т.д. Высокая стоимость и сложность изготовления систем на базе опор растяжения являются естественными ограничителями в их широком использовании в строительной практике.

В качестве конкретного примера гибкой подвески строительного объекта для снижения его сейсмической реакции следует отметить реализованный в 60-х годах в Ашхабаде трехэтажный жилой дом, с активной сейсмозащитой системы Ф.Д. Зеленкова (Рис. 1.4, а).

Сейсмоизолятор расположен на месте капитальных стен в подвале здания 1. Он состоит из железобетонной рамы, находящейся на фундаменте 8 капитальных стен. На стойках 5 этой рамы находятся два ригеля 3. Между стойками рамы и ее ригелями находятся железобетонные стулья 6, которые через стальные подвески 7 подвешены на ригелях рамы. Стулья 6 опираются на железобетонные рандбалки 2, поддерживающие все стены здания. [2, 4-6]

По идее автора, в отличие от других предложений его система должна была снижать как горизонтальные, так и вертикальные колебания. Однако опыты Туркменского института сейсмостойкого строительства выявили следующие недостатки сейсмозащиты:

Из-за высокой жесткости подвесных пружин, не наблюдается предполагаемого увеличения периодов собственных колебаний здания;

Из-за явления кручения, при «гибкой подвеске» объекта возможна нежелательная перегрузка крайних, угловых элементов;

Из-за подвижности сейсмоизолятора и поднятия центра тяжести строительного объекта, сейсмозащита «на гибкой подвеске» не рекомендуется для гибких, высотных объектов;

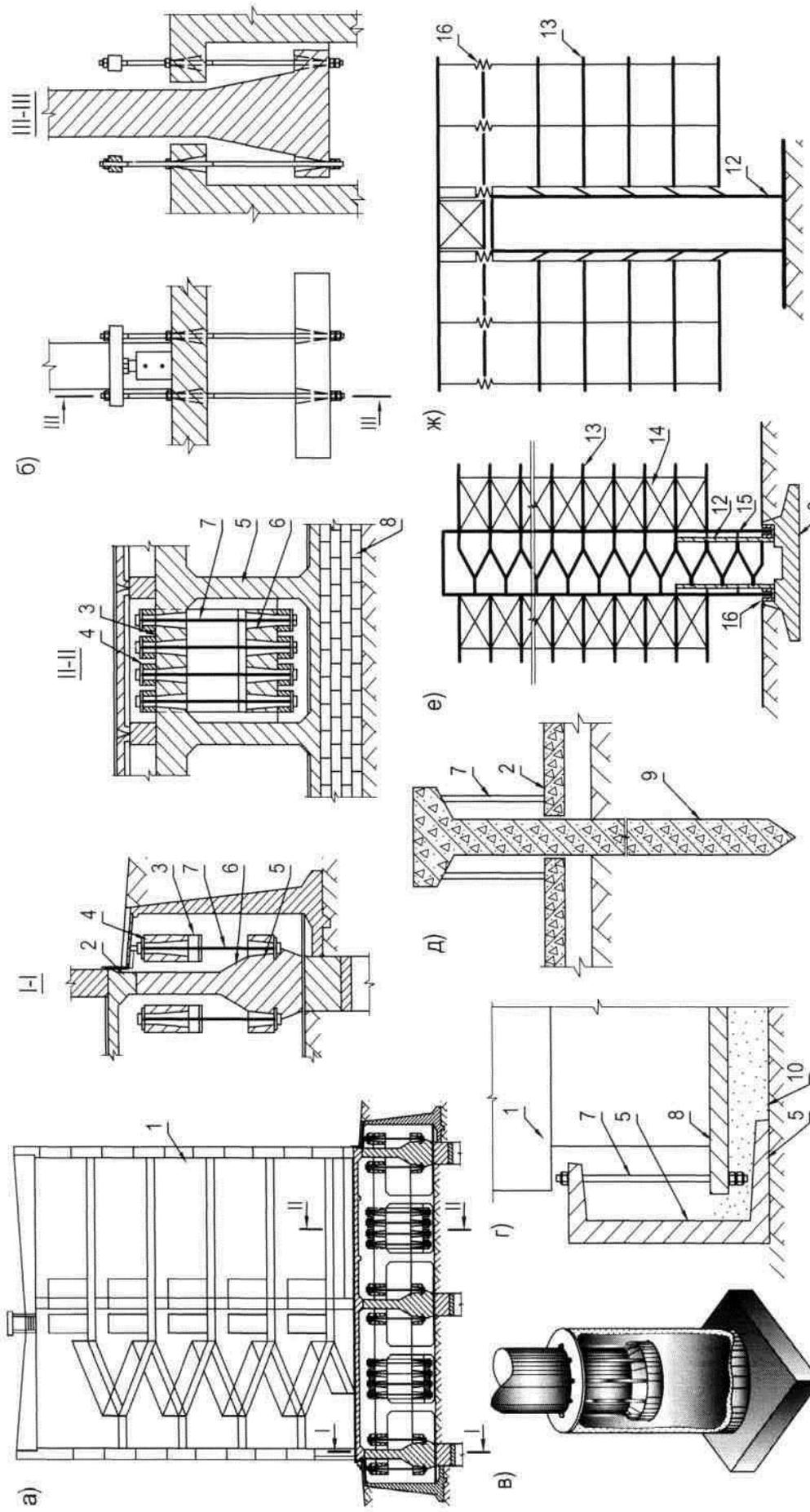
Сейсмозащита обладает повышенной чувствительностью к внешнему, ветровому и динамическому воздействию, что снижает эксплуатационные качества строительного объекта, вызывает нежелательные вибрационные нагрузки на инженерные сети и коммуникации и приводит к дискомфорту жильцов.

Учет этих факторов приводит к необходимости дополнительных ограничений, накладываемых на жесткость амортизатора. Необходимо так же учитывать и возможность потери устойчивости самим упругим амортизатором.

И, наконец, дороговизна системы, в частности стоимость построенного фундамента амортизатора 4-х этажного здания составила около 24% от стоимости самого здания.

Таким образом, все отмеченное выше, объективно приводит к выводу, что широкое применение сейсмозащиты на гибкой подвеске в массовом жилищно-гражданском строительстве бесперспективно и нежелательно. [2, 4, 6]

Не спасает положения введение отдельных, дополнительных конструктивных элементов по улучшению сейсмозащиты, например, посредством введения специальных демпфирующих прослоек, как это предлагается по а.с. № 326338 (Рис. 1.4, в). Технически это обеспечивается тем, что опорная фундаментная плита 8 с одной стороны подвешивается на жестких в вертикальном направлении тягах 7 к объемлющему ее фундаментному стакану 5, а с другой стороны – плита соприкасается с демпфирующей прослойкой 10 (песком), служащей конструктивным заглублением сейсмозащиты. Естественно, что введение демпфера уменьшает чувствительность динамической системы на силовые импульсы, однако, в целом это никак не уменьшает ни сложность, ни дороговизну сейсмозащиты.



**Рис. 1.4. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе подвесных опор :**

варианты с "подвесными опорами" по а.с. СССР: а) № 53663 и № 70385; по патенту: б) Японии № 4094,77, в) Мексики № 1.541.232; варианты "подвесных свайных фундаментов" по а.с. СССР: г) №289167, в) № 326338;

комбинированные варианты гибко-подвесных зданий по а.с. СССР: е) № 480819, ж) № 477227 (все М. кл. E 02 d27/34 и h9.02);

1 - строительный объект, 2 - ростверк, 3 - ригель, 4 - рессора, 5 - железобетонная стойка и 6 - стулья, 7 -стальные подвески, 8 - фундамент, 9 - свая, 10 - демпфирующая прослойка, 11 - железобетонный ствол и 12 - ядро жесткости, 13 - подвесные перекрытия, 14 - диафрагмы жесткости, 15 - упругие прокладки, 16 - дополнительные амортизаторы.

Более прогрессивным является вариант активной сейсмозащиты, представляющий собой комбинацию идеи подвески строительного объекта с идеей гибкой нижней части. Из-за широкого применения новации в практике многоэтажного строительства (небоскребов), рассмотрим решение более детально.

Конструктивно решение выглядит следующим образом, на железобетонный ствол, начиная со второго этажа, крепятся (навешиваются) все последующие этажи здания. Обычно внутри ствола устраиваются лифтовые шахты и пропускаются инженерные сети и коммуникации. Для функционального использования первого этажа по периметру объекта устанавливают ветровые фахверковые стойки-колонны. В данном строительном объекте это вспомогательные элементы, которые при сильных динамических воздействиях обычно разрушаются. Однако, конструктивная простота и относительно небольшая стоимость фахверковых стоек-колонн, позволяет быстро осуществить их ремонт или замену на аналогичные новые стойки.

Сам же объект имеет высокую надежность. При этом жесткость дисков перекрытий и стен обеспечивают изолируемой части (верху) строительного объекта высокую общую жесткость. Изгиб и податливость системы возможны только в уровне первого этажа. Фундамент и динамически податливый (изгибаемый) участок ствола являются наиболее загруженными и наиболее ответственными элементами системы. И, тем не менее, благодаря современным техническим возможностям строительной отрасли, практическая реализация технического решения вполне осуществима.

Определенным положительным моментом выступает и то обстоятельство, что все элементы сечения несущего ствола, особенно при его цилиндрической форме, имеют одинаковые прочностные свойства и находятся на одинаковом от центра объекта расстоянии, что автоматически обеспечивает равномерность распределения усилий кручения и среза по сечению.

Вдобавок ко всему, за счет конструктивных особенностей сейсмозащиты, точнее учитывая конфигурацию и размеры диаметра несущего ствола, которые обычно колеблются в пределах 6÷9 м и которые меньше по сравнению со всем объектом размерами сечения, позволяют еще и существенно уменьшаться величина крутящего момента при деформации и закручивании строительного объекта вокруг его вертикальной оси. Одновременно с этим, объект обладает вполне достаточной жесткостью, чтобы успешно противостоять импульсно-ветровым и динамическим усилиям. Что с одной стороны предотвращает нежелательную раскачку строительного объекта (особенно верха), с другой - обеспечивает объекту общую устойчивость от опрокидывающих и срезающих усилий.

Таким образом, конструктивная простота решения и относительно не большие экономические затраты предопределили широкое практическое применение отмечаемого варианта сейсмозащиты при возведении многоэтажных объектов (небоскребов).

В качестве недостатков следует отметить, что реализация идеи требует очень высокой культуры проектирования и производства работ. Кроме этого, система, по 12 балльной шкале интенсивности землетрясений (MSK-64), обеспечивает эффективную и надежную сейсмозащиту строительного объекта только в пределах 9 баллов. К сожалению, следует заметить, что последнее обстоятельство характерно для большинства практикуемых способов и методов сейсмозащиты.

Для представления перспективности идеи дополнительно рассмотрим пару вариантов ее конструктивного развития, в частности на базе технических решений по а.с. СССР № 480819 и № 477227 (Рис. 1.4, е, ж).

В техническом решении по а.с. СССР № 480819, так же, как и, в общем, случае, строи-

тельный объект состоит из несущей поэтажно-нагруженной полой башни (ствола) 11, вокруг которой расположены вертикальные диафрагмы 12 жесткости (или жесткие связи) и жестко соединенные с ними плиты 13 перекрытия. Фундамент 8 жестко соединен с ядром жесткости 14, размещенным в плоскости опорной башни (ствола). Между башней и ядром жесткости расположены амортизирующие устройства, например упругие прокладки 15.

В нижней части опорная башня зацепляется в выемках фундамента против сдвиговых усилий жесткими амортизирующими устройствами 16.

Как видим, отличительной особенностью технического решения заключается в том, что рабочая часть системы в уровне первого этажа выполняется из двух цилиндрических оболочек: несущего ствола 11 и ядра жесткости 14 входящих одна в одну, в зазор между которыми вводятся упругие элементы 15. В определенной мере это увеличивает гибкость и динамическую податливость системы. Однако ведет к существенному усложнению изготовления сейсмозащиты, к сложности использования внутреннего пространства несущей башни и повышению стоимости сейсмозащиты.

К сожалению, на практике под упругими прокладками, обычно подразумевается резина, которая из-за явления старения полимеров, со временем меняет свои упругие, физико-механические свойства. Но даже, если предположить использование металлических амортизаторов, то и в этом случае, из-за конструктивных особенностей сейсмоизоляции произвести замену вышедших из строя упругих элементов будет довольно затруднительно. Что, естественно, ведет к снижению общего уровня эффективности и надежности сейсмозащиты. Аналогичного положительного эффекта можно добиться и более простым способом, например, за счет регулирования толщины стенок несущего ствола на конструктивно организуемом участке его изгиба (или динамической подвижки).

Конструктивная суть идеи по а.с. № 477227 сводится к следующему: строительный объект состоит из опорной части в виде одного или двух монолитных железобетонных стволов 11, двух консольных ферм 17, подвесок 7 и подвесных железобетонных перекрытий 13. При этом перекрытия 13 соединены с опорным стволом 11 посредством амортизатора в виде упругих связей 15. В местах крепления подвесок 7 к двух консольным фермам 17 или в местах опирания последних на опорный ствол 11 размещены дополнительные амортизаторы 16.

По авторской идее, благодаря использованию дополнительных амортизаторов 16 сейсмические нагрузки, передающиеся на подвески 7 в вертикальном направлении, снижаются и, таким образом, повышается сейсмостойкость сооружения в целом.

К сожалению, вертикальная нагрузка снижается только на подпружиненном этаже. Все остальные этажи находятся в обычных условиях. Получается, что дополнительная сложность, связанная с возведением подпружиненного этажа строительного объекта, не ведет к повышению надежности и эффективности сейсмозащиты всего объекта.

Как видим, введение дополнительных усовершенствований в основную идею кроме ее усложнения и удорожания нового качества нам не обеспечили.

**В целом, в строительной практике идею сейсмозащиты строительных объектов по средством упругих опор растяжения, из-за высокой стоимости и конструктивной сложности изготовления, сложности эксплуатации следует признать не желательной и бесперспективной.**

**Зато комплексный вариант сейсмозащиты подвесных зданий и сооружений с жестким стволом, выполняющим роль лифтоносущего блока, наоборот, как потенциально**

**перспективное направление, следует признать заслуживающим особого внимания и исследования.**

**Так же следует обратить внимание и на организацию фундаментов, особенно в части организации индустриальных фундаментов с малым поперечным сечением для восприятия больших вертикальных и горизонтальных нагрузок при значительных опрокидывающих моментах и срезающих усилиях. Без удовлетворительного решения проблемы в будущем сложно будет обеспечить эффективное и надежное строительство высотных объектов.**

#### **1.2.1.4. Системы на базе резинометаллических опор**

Необходимость самостоятельного рассмотрения активных систем на базе резинометаллических и резинопластиковых опор сжатия связана с их конструктивной особенностью, а именно, с использованием резины в несущих элементах и очень малым, по сравнению с зарубежной практикой, опытом применением в нашей строительной практике.

В настоящее время на практике используется несколько типов резинометаллических упругих, опор сжатия: французский, новозеландский, американский и итальянский варианты опор. Несмотря на определенные конструктивные отличия опор между собой, например, заключающиеся в наличие или отсутствие резинового или свинцового сердечника 12, конструктивно это набор чередующихся резиновых 8 и стальных листов 9, заключенных между опорными стальными пластинами 10, снабженных отверстиями 11 для крепления к конструкциям сооружения (Рис. 1.5, д-з). В ряде случаев в чередующийся набор включаются еще и тефлоновые (или фторопластовые) прокладки. [1-10]

Для предотвращения чрезмерной осадки зданий под собственным весом, опоры выполняются жесткими в вертикальной и податливыми в горизонтальной плоскости. При этом чтобы обеспечить возможность упругого бокового перемещения, они обладают малой жесткостью в горизонтальной плоскости (в 360 раз меньше ее жесткости в вертикальной плоскости) [1, 5, 11]. Благодаря упругим свойствам резины, резинометаллические опоры обладают высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении. Но при этом для их изготовления требуется высококачественная, дорогая резина.

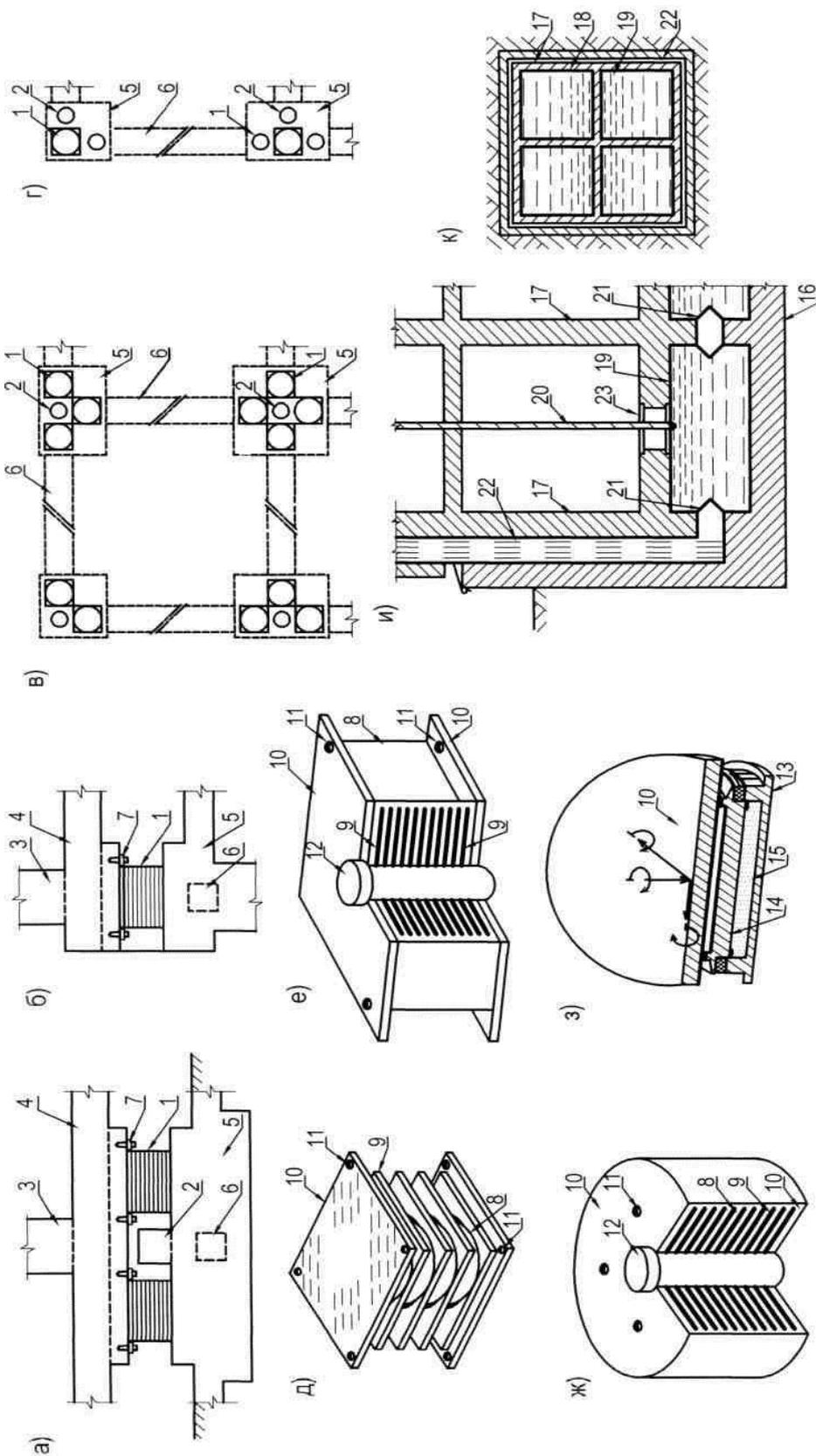
Затем, на холоде, из-за явления твердения резины, резинометаллические опоры изменяют свои физико-механические (упругие) свойства. А из-за явления «старения» полимеров, вследствие которого со временем изменяются физико-механические свойства полимера, гарантированный срок службы резинометаллических опор, по разным источникам, составляет от 20 до 50 лет, что, учитывая время их эксплуатации, для многих строительных объектов является сроком явно недостаточным. [1-2, 5-6]

Из-за явлений изгиба и закручивания строительного объекта вокруг своей оси, вызванных пространственным, динамическим характером сейсмического воздействия, крайние, сейсмоизолирующие резиновые опоры оказываются наиболее загруженными (перегруженными). Что приводит к необходимости введения специальных конструктивных компенсирующих мер защиты строительного объекта.

И, наконец, сейсмозащита обладает повышенной чувствительностью к внешнему, ветровому и динамическому воздействию, что, с одной стороны, приводит к дискомфорту жильцов, а с другой - снижает эксплуатационные качества строительного объекта, вызывает нежелательные вибрационные нагрузки на инженерные сети и коммуникации. [6-10, 12-13]

В качестве достоинства следует отметить, что многослойные резинометаллические опоры

являются легко изготавливаемыми простейшими изоляторами. При проектировании опор требуемые значения параметров легко подбираются за счет изменения числа и толщины отдельных слоев. По мнению авторов идеи, система сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор значительно увеличивает затухание колебаний и почти в 2 раза уменьшает реакцию здания при сейсмическом воздействии, в 2-3 раза основной период собственных колебаний.



**Рис. 1.5. Конструктивные примеры активной сейсмозащиты на базе резинометаллических и резинопластиковых опор сжатия:** схема размещения опор: а) на фундаментной плите; б) на капители колонн подземной части; в) и г) варианты возможного расположения в плане; вариант опоры используемый: д) во Франции; е) в Новой Зеландии; ж) в Японии; з) в Италии; по а.с. СССР: и) разрез и к) план № 327296 (все М. кл. Е 02 d27/34 и h/02); 1 - опора, 2 - ограничитель смещения, 3 - колонна здания, 4 - плита перекрытия, 5 - фундаментная плита, 6 - фундаментная балка, 7 - анкерный болт, 8 - слой резины, 9 - внутренний стальной лист, 10 - опорная стальная пластина, 11 - отверстия для крепления опор к конструкциям сооружения, 12 - свинцовый или резиновый сердечник, 13 - стальная крышка, 14 - стальная пластина, 15 - неармированный резиновый диск, 16 - железобетонный фундамент и 17 - его полые стаканы, 18 - гибкий, водо-непроницаемый резервуар, 19 - жидкая, рабочая среда, 20 - вертикальная трубка, 21 - клапана регулирующей системы, 22 - упругие прокладки, 23 - смотровой люк.

Первоначально опоры нашли применение в основном при конструировании опор мостов, в дальнейшем в первую очередь, усилиями специалистов Франции [5-7, 11], Новой Зеландии [2-8], США [10-11, 15-16], Японии [17], Италии [9], конструкции резинометаллических опор были усовершенствованы и стали широко применяться для сейсмоизоляции строительных объектов.

Считается, что применение таких опор весьма эффективно и экономически целесообразно не только во вновь строящихся, возводимых строительных объектах, но и в целях обеспечения сейсмостойкости строительных объектов старой постройки, особенно для зданий, имеющих архитектурную и историческую ценность, перестройка которых в процессе антисейсмического усиления нежелательна.

Устройство системы сейсмозащиты с помощью резинометаллических опор не требует применения специальных конструкций зданий, однако предусматривает выполнение определенных правил проектирования [4-7]:

1. Опоры устанавливаются под колоннами или в местах пересечения несущих стен (Рис. 1.5, а-г).

2. При отсутствии подземного помещения резинометаллические опоры устанавливаются на отдельно стоящие фундаментные плиты (Рис. 1.5, а, в), постоянное расстояние между которыми во время возможного землетрясения обеспечивается достаточно жесткими соединительными блоками.

3. При наличии подземного этажа опоры размещают на капители колонн подземной части здания, также соединенные между собой жесткими фундаментными блоками (Рис. 1.5, б, г).

4. Для ограничения вертикальных и горизонтальных перемещений резинометаллических опор 1 при землетрясении около каждой из них устанавливаются железобетонные, заанкеренные (заделанные) ограничители 2 (Рис. 1.5, б, г).

Более существенное конструктивное отличие представляет вариант однослойных резиновых опор, предложенный итальянскими специалистами [9]. Здесь опоры ограниченной деформативности представляют собой резиновый неармированный диск 15, заключенный в специальный цилиндрический корпус 13 с круглой, герметически закрывающейся стальной крышкой 14 (Рис. 1.5, з), являющейся ограничителем деформаций. (Имеющиеся варианты технического решения с ограничителями деформаций нами не рассматриваются, так как любые связи являются элементами передачи сейсмической нагрузки, что нарушает сущность идеи активной сейсмозащиты). При деформации резинового диска в опорах обеспечивается поворот стальной крышки относительно любой горизонтальной оси. При этом резиновый диск ведет себя подобно несжимаемой жидкости. Герметический затвор крышки исключает выдавливание резины в щель между стенками цилиндрического корпуса.

Учитывая сложные условия работы, к неармированному диску предъявляются повышенные требования:

Во-первых, они изготавливаются из натуральной или синтетической резины с высокими физико-механическими характеристиками;

Во-вторых, диск изготавливают путем отливки или вырезания из более крупного куска резины. При резке следует избегать сильного нагревания резины и добиться гладких поверхностей. Учет этих факторов приводит к необходимости дополнительных ограничений, накладываемых на жесткость амортизатора. Необходимо так же учитывать и возможность потери устойчивости самим упругим амортизатором.

Как видим, и здесь наблюдаются конструктивные недостатки, характерные всем пружинным опорам.

В качестве иллюстрирующего примера использования резинопластиковых опор сжатия рассмотрим применение упругой гидрооболочки по а.с. №327296. Здесь с целью автоматического обеспечения сохранения положения строительного объекта задействована амортизирующая система, состоящая из железобетонного фундамента 16, выполненного в виде ряда полых стаканов 17, снабженных гибким водонепроницаемым резервуаром, заполненным жидкой рабочей средой, например, водой. При этом полость каждого из резервуаров соединена с атмосферой вертикальными трубками 20 поплавковыми кланами 21, а внешние стены фундамента 16 отделены от грунта упругими прокладками 22. Одновременно с этим прокладки выполняют еще и роль утеплителя стен подвала. Для смены водонепроницаемых элементов, в случае выхода их из строя, предусмотрен специальный, смотровой люк 23. После монтажа объекта в резервуары через трубки подается жидкость до тех пор, пока давление создаваемое столбом жидкости в трубках, не уравнивает веса объекта и не обеспечит подъема фундамента.

При не равномерных осадках грунта и при несимметричном загрузении строительного объекта, его вертикальное положение автоматически обеспечивается следующим образом:

При увеличении вертикальной нагрузки под определенными частями здания жидкость из резервуара выталкивается в трубку 20, в результате чего столб воды в ней повышается, вызывая увеличение давления в одних и понижения давления в других опорных резервуарах 18. В свою очередь, изменение давления в резервуарах приводит к автоматическому включению регулирующей системы 21, компенсирующий возникший дисбаланс. В результате чего, объект возвращается в свое исходное проектное положение.

При сейсмических воздействиях корпус объекта стремится вместе с грунтом сместиться относительно железобетонного стакана 17, скользя по гибкому резервуару 18. При этом происходит сдвиг и искривление боковых стенок резервуара 18, а также обжатие упругих прокладок 22.

По авторскому замыслу следует, что поскольку жесткость боковых стенок резервуаров и прокладок мала, то соответственно незначительными должны оказаться и сейсмические усилия, возникающие в здании при землетрясении. Однако при этом упускается из виду поверхностные земные перемещения и инерционность строительного объекта.

К сожалению, из-за явления полимеров стареть, возможности разрывов, проколов и порезов тканей оболочек, амортизирующих баллонов (водонепроницаемых резервуаров 18), система обладает низкой общей надежностью. Что, естественно, в процессе всей эксплуатации строительного объекта потребует специального контроля над системой, ремонта и замены, вышедших из строя ее элементов. Все это негативно скажется на себестоимости сейсмозащиты. Здесь конструктивно, более оптимально было бы задействовать двухслойное покрытие амортизирующего баллона, при котором внешнее играло бы роль защиты, а внутреннее роль камеры, т.е. непосредственно обеспечивало бы задержку воздуха и жидкости. Тогда внешнее покрытие можно было бы изготавливать, например, из стеклоткани, капрона, нейлона и т.д., т.е. изготавливать из тканей, обладающих значительно более высокими прочностными свойствами на разрыв. Использование преимуществ сотовой организации при производстве несущих гидрооболочек; использование самозатягивающейся резины в какой-то мере повышает общую надежность системы, но, к сожалению, и в этом случае мы не обеспечиваем сейсмозащиту надлежащей надежности.

Теперь о рабочей среде 19, располагаемой в амортизирующих баллонах 18. При использовании в качестве рабочей среды химических жидкостей, то, во-первых, из-за открытости системы, жидкости будут испаряться, что потребует постоянного пополнения систем. Во-вторых –

это неприятные запахи и отравления окружающей среды. В-третьих - не исключена возможность химического взаимодействия рабочей среды с воздухо непроницаемой тканью (резиной камеры), и, как следствие, химических растворов отдельных участков ткани баллонов.

При использовании в качестве рабочей среды воды, мы, естественно, исключаем химическое взаимодействие среды с тканью водонепроницаемого баллона (резиной камеры). Однако, вода, из-за все той же, открытости системы, будет испаряться, а значит, в процессе эксплуатации потребуются пополнение системы водой. Кроме этого, из-за застоя воды в системе она «зацветет», появиться плесень, грибок, комары и неприятный запах. Что существенно ухудшает комфорт проживания. Таким образом, рассматриваемая сейсмозащита, не может быть предложена к широкому применению в строительной практике и пока ее следует признать бесперспективной.

**Подводя итог рассмотрению практических возможностей резинометаллических и резинопластиковых упругих опор сжатия, следует особо выделить, что наряду с общими для всей группы сейсмозащиты недостатками, они обладают еще и малой временной надежностью. Вследствие чего, снижается и общая надежность строительного объекта. Прежде всего, это обусловлено явлением «старения» и низкой механической прочностью (проколы, порезы, разрывы) резины и пластиковых материалов, используемых в ответственных элементах сейсмозащиты. В условиях, когда имеются более надежные и эффективные системы данный тип сейсмозащиты не может быть предложен к использованию в строительной практике.**

## 1.3. Специальная сейсмозащита на основе сил внешнего и внутреннего трения

### 1.3.1. Системы с малым трением качения или скольжения

#### 1.3.1.1. Шаровые опоры

Группа систем специальной сейсмозащиты, работающих на основе сил внешнего трения, подразделяется на системы: **трения качения, трения скольжения и сухого трения.** При этом основная идея отмечаемых систем сейсмозащиты основывается на возможности существенного снижения нагрузок за счет качения шаровой опоры или проскальзывания элементов активной сейсмозащиты друг относительно друга; а при сухом трении - за счет рассеивания (диссипации) сейсмической энергии, посредством преобразования ее в тепловую энергию. Снижение сейсмического воздействия определяется параметрами задействованной фрикционной пары, которая подбирается исходя из необходимости восприятия ветровой нагрузки и конструктивных особенностей строительного объекта. [1-8]

Заметим, что внешнее трение – это процесс диссипации энергии, протекающей при относительном тангенциальном перемещении соприкасающихся твердых тел, осуществляемый в зонах реального контакта этих тел, образовавшегося под действием внешней нагрузки. Вследствие волнистости и шероховатости каждой из поверхностей, касание двух твердых тел происходит лишь в отдельных «пятнах», сосредоточенных на гребнях выступов. Размеры пятен зависят от природы тел и условий трения. При этом более жесткие выступы внедряются в деформируемое контротело, образуя единичные пятна реального контакта, на которых возникают силы прилипания (адгезия, химические связи, взаимная диффузия и др.).[3-4]

В зависимости от характера деформирования поверхностного слоя различают внешнее трение при упругом, при пластическом контактировании и при микрорезании. В определенных условиях, зависящих от нагрузки и механических свойств каждой пары трения, внешнее трение переходит во внутреннее трение, для которого характерно отсутствие скачка скорости при переходе от одного тела к другому. Переход от трения покоя к трению скольжения, а соответственно и численное изменение значений коэффициентов, сопровождается толчком. Поэтому в любой системе с непрерывным, медленным изменением скорости скольжения, пульсирующим или возвратно-поступательным движением статический и динамический коэффициенты трения не должны резко отличаться, так как в противном случае движение будет осуществляться в виде серии толчков.

Под «сухим» трением принято понимать трение двух поверхностей при полном отсутствии третьей фазы, способной предотвратить между ними непосредственный контакт. Практически при трении поверхности тел разделяются прослойками воздуха, газов, воды, окислов, продуктов износа, смазки и других веществ. Эти вещества образуют, так называемый, промежуточный слой. Если толщина данного слоя превосходит микро и макронеровности сопряженных поверхностей трущихся тел, трение происходит только внутри промежуточного слоя. Последний слой - выжимается динамической и статической нагрузкой тем сильнее, чем ниже вязкость этих слоев и меньше скорость относительного скольжения.

Исследования в вакууме показывают, что характер промежуточного слоя оказывает влияние на значение коэффициента трения. Наличие воздушных прослоек между трущимися поверхностями снижает коэффициент трения тем больше, чем больше скорость проскальзывания. Жидкие прослойки еще интенсивнее снижают значение коэффициента трения. Особенно в условиях, когда достигается чисто жидкостное трение, которое возникает, когда промежуточный слой состоит преимущественно из жидкостей и подчиняется законам гидродинамики ламинарного

потока, т.е. при условии, когда жидкий слой имеет толщину не менее 0.1 мк. Заметим, что вода является эффективной смазкой лишь при высоких скоростях и малых давлениях, в противном случае смазывающая водяная пленка не сохраняется. [3-7]

На величину внешнего трения существенное влияние оказывает разнообразие внешних условий (нагрузка, скорость, шероховатость, температура, смазка), природа трущихся тел, возможное разнообразие сочетания трущихся пар и связанное с этим, большое физико-механическое многообразие контакта. Вследствие чего параметры трения колеблются в широких пределах от  $0.05 \div 0.06$  (для пары фторопласт – полированная сталь при трении на воздухе) до 100 (для полированных металлов в вакууме). [5-6].

Различают коэффициенты трения в состоянии покоя и в состоянии скольжения. Для преодоления трения покоя необходима тангенциальная сила, которую называют силой сцепления, силой статического трения, силой начала движения, силой трения покоя.

В зависимости от вида перемещения различают внешнее трение скольжения  $f_{\text{сколь}}$  и трение качения  $f_{\text{кач}}$ . Характеристика первого – коэффициент трения скольжения  $f_{\text{сколь}}$  – безразмерная величина, равная отношению силы трения к нормальной нагрузке; в то время как характеристика второго – коэффициент трения качения  $f_{\text{кач}}$  – представляет собой отношение момента трения к нормативной нагрузке. [8]

Системы активной сейсмозащиты системы с малым трением качения подразделяются на системы:

**с кинематическими опорами на базе шаровых опор;**

**с кинематическими опорами на базе сфероидов и стоек со сферическими поверхностями концов.**

Значение силы трения качения, особенно при наличии смазки, очень мало по сравнению с силами трения скольжения. В целом трение качения обусловлено:

а) потерями на упругий гистерезис, связанный со сжатием материала под нагрузкой перед катящимся телом;

б) затратами работы на передеформирование материала при формировании валика перед катящимся телом;

в) преодолением мостиков сцепления.

При достаточно протяженных размерах пятна касания в зоне контакта возникает проскальзывание, приводящее к трению скольжения. При больших скоростях качения, сопоставимых со скоростью распространения деформаций в теле, сопротивление перекачиванию резко увеличивается, и трение качения так же преобразуется в трение скольжения. [3-7].

При трении качения характер нарушения фрикционной связи и комплекс процессов, протекающих в поверхностных слоях и микрообъемах, существенно зависит от ряда факторов: геометрических, механических, физических и химических. Одним из наиболее мощных факторов является геометрический фактор, характеризуемый отношением глубины внедрения или величины сжатия к радиусу единичной неровности ( $h/r$ ). Эта характеристика позволяет различить упругий контакт (Рис. 1.6, а), пластический (Рис. 1.6, б) и микрорезание (Рис. 1.6, в). Вторым существенным фактором является физико-механический, характеризуемый отношением тангенциальной прочности молекулярной связи к пределу текучести материала основы ( $\tau/\sigma_t$ )

При этом следует различать два случая:

нарушение связи по поверхности раздела двух тел или по пленкам, покрывающим эти тела (когда не затрагиваются слои основного материала);

нарушение связи не по поверхности раздела двух тел (в глубине основного материала) - в

этом случае внешнее трение переходит во внутреннее. [3-5]

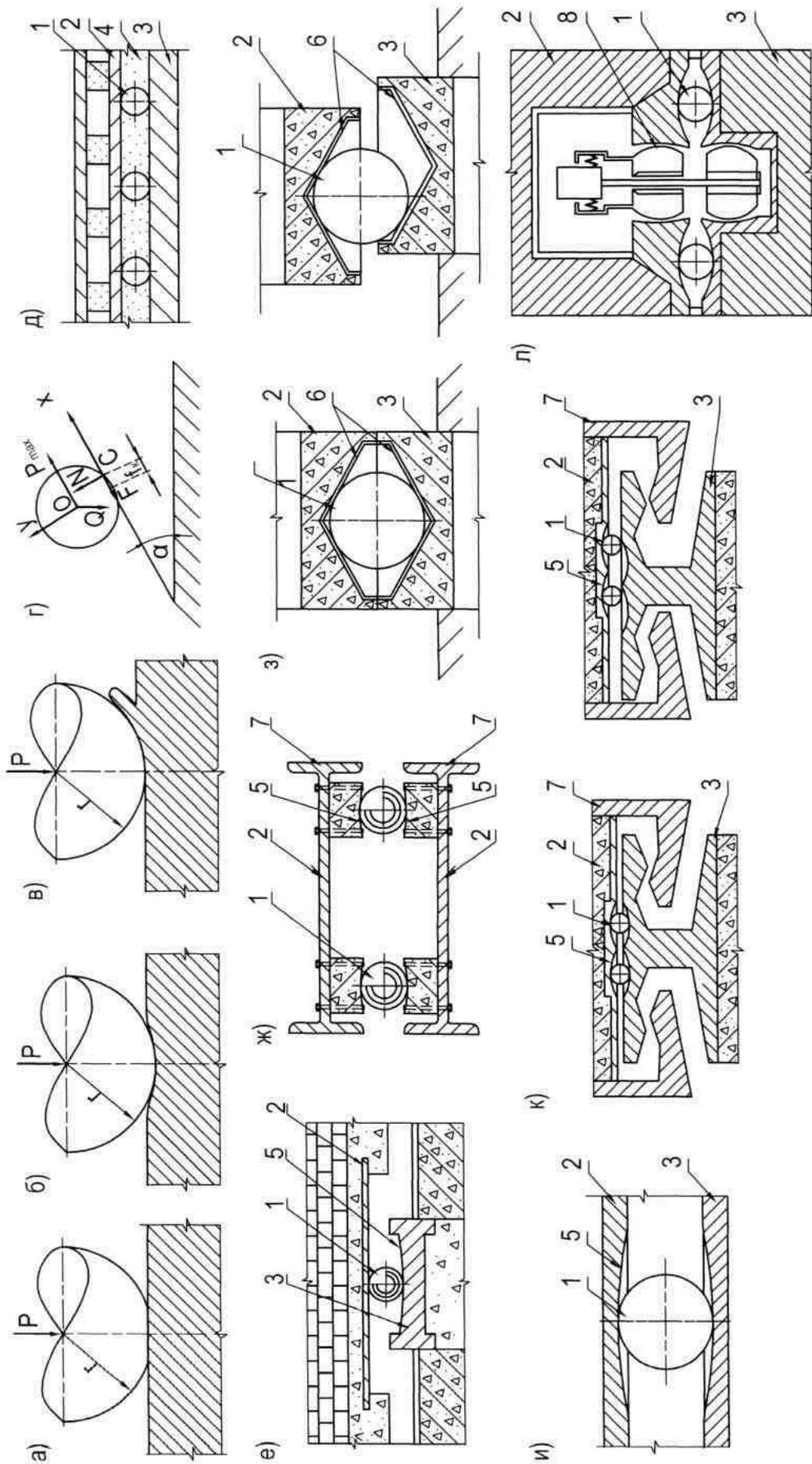
Итак, при трении качения имеет место следующие три интересующих нас случая фрикционного взаимодействия:

1. Случай качения - когда при контакте тел, обладающих равнозначными силами упругости (рис. 1.6, а), действующая нагрузка и адгезия не приводят к возникновению в зоне контакта напряжений, превышающих предела текучести;

2. Случай скольжения - когда при контакте тел, действующая нагрузка и адгезия приводят к возникновению в зоне контакта, у опоры качения, напряжений, превышающих предел текучести; или случай – когда трение качения переходит в трение скольжение (рис. 1.6, б).

Аналогичный эффект наблюдается при перемещении фиксированной опоры качения по поверхности скольжения;

3. Случай микрорезания - когда при контакте тел, действующая нагрузка и адгезия приводят к возникновению в зоне контакта, у поверхности качения напряжений, превышающих предел текучести; когда силы упругости поверхности качения меньше упругости тела качения (рис. 1.6, в), или случай - когда трение качения переходит в трение микрорезания.[3-7]



**Рис. 1.6. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе шаровых опор:**

виды нарушения frictionных связей при трении качения: а) упругий контакт; б) пластический контакт; в) микрорезание; г) схема равновесия сил, действующих на шаровую опору на наклонной плоскости;

сейсмоизолирующие опоры по патенту: д) СФРЮ № 26600; е) Франции № 2046022; ж) США № 2035143; по а.с. СССР: з) № 594248 и № 654792; к) № 607890; л) № 628235 (все М. кл. E02 d 27/34 и h 9/02);

1 - шаровая опора, 2 - верхний и 3 - нижний опорный пояс, 4 - фиксирующая обойма, 5 - шарообразная выемка, 7 - упор-ограничитель, 8 - шарнирно-пружинные элементы устойчивости сейсмозащиты.

Наиболее простым вариантом реализации идеи с **кинематическими опорами на базе шаровых опор** является техническое решение по патенту СФРЮ № 26600 (рис. 1.6, д), которое состоит из ряда шаровых опор 1 и двух плоскопараллельных опорных поверхностей 2 и 3. Дополнительно, чтобы при сейсмическом воздействии шаровые опоры не группировались в случайные скопления, система снабжена специальной фиксирующей обоймой 4. При этом, учитывая малую величину трения качения, система весьма чувствительна к ветровому и динамическому воздействию. В результате не исключена возможность потери устойчивости строительного объекта из-за «ухода» шаровых опор за пределы очертания здания, а значит, нужны еще и ограничители смещения, как самого строительного объекта, так и опор качения.

Затем, в соответствии с геометрией: заданной плоскости через три точки можно провести лишь одну параллельную плоскость. Отсюда при параллельности опорных, несущих поверхностей 2 и 3, вся вертикальная нагрузка придется на три наиболее выступающие опоры качения 1 (рис. 1.6, д). Чтобы организовать равнозначные условия работы всем опорам качения, с одной стороны, необходимо обеспечить безусловную параллельность опорным поверхностям, с другой – равенство геометрических и физических параметров всем опорам качения, что требует от строителей машиностроительной точности изготовления всех основных элементов сейсмозащиты.

Для обеспечения прочностных свойств по материалу, учитывая вес сейсмоизолируемого объекта и параметры нагрузок, площади контактируемых поверхностей шаровых опор с опорными поверхностями качения должны быть либо металлическими, либо металлизированными.

Учитывая время эксплуатации строительных объектов, измеряемое многими десятилетиями и даже столетиями, обязательно следует учитывать отложение пыли по поверхности шаровой опоры и по опорным поверхностям, способной со временем изменять значение трения качения. Вследствие чего, следует либо предусматривать средства по ограничению пылевых отложений, либо обеспечить доступ для уборки пыли, соответствующее оборудование и специалистов.

Учитывая тот факт, что смазка оказывает существенное влияние на изменение вида трения, а значит и параметров трения качения, обязательно следует предусматривать конструктивные мероприятия, предотвращающие возможность попадания по контакту шаровой опоры качения смазки и выпадения конденсата.

Малая устойчивость объекта, из-за малой величины трения качения ( $f_{\text{кач}}=0.04\div 0.05$ ), ведет к ветровой и динамической «раскачке» сейсмоизолируемой части объекта, и, как следствие, к дискомфорту людей находящихся в строении. Что нежелательно и требует специальных мер по демпфированию системы.

И, наконец, конструктивно системы с элементами трения качения не влияют на характер вертикальной составляющей сейсмического воздействия. Если учесть, что вертикальные ускорения могут достигать значений более  $1g$  [заметим, что при землетрясении в Сан-Фернандо (штат Калифорния, США) в 1971 г. оно достигало значения  $1.24 g$ , при Газлийском землетрясении 17 мая 1976 –  $1.3 g$ , а при землетрясении в Империял Вэли (Калифорния, США) в 1979 г. –  $1.66 g$ , то неспособность системы воспринимать вертикальную составляющую сейсмического воздействия следует признать как существенный конструктивный недостаток системы.

К сожалению, реализация выше отмеченных пунктов связана с большой металлоемкостью, трудоемкостью изготовления сейсмозащиты, необходимостью использования специализированного, высокоточного машиностроительного оборудования, высококлассных специалистов машиностроителей и строителей, к росту эксплуатационных затрат, что неизбежно ведет к высокой стоимости сейсмозащиты.

### 1.3.1.2. Шаровые сфероиды или стойки со сферическими концами

Наряду с опорами качения, в группу систем активной сейсмозащиты с малым трением качения так же входят системы сейсмозащиты с кинематическими опорами на базе сфероидов и стоек со сферическими поверхностями концов (Рис. 1.7, а-б) [1-8]. Основной особенностью кинематических опор (кинематических фундаментов) является то, что в них геометрическая форма выступает как самостоятельный элемент. В частности, горизонтальное смещение опоры одновременно вызывает вертикальный подъем центра тяжести динамической системы. В то время как сила гравитации наоборот - стремится вернуть систему в начальное положение равновесия. Возникает возвращающий силовой момент ( $M = P \cdot \delta$ ), направленный в сторону, противоположную смещению изолируемой части строительного объекта. Получается своеобразная кинематическая пружина, жесткость которой существенно не линейна и колеблется, в зависимости от веса сейсмоизолируемого объекта, смещения и конструктивного исполнения кинематической опоры, от 1000 до 30000 тс/м [1, 9-11].

Вследствие чего, системы с кинематическими опорами является переходной группой сейсмозащиты от систем с изменяемой жесткостью к системам с малым трением качения.

К сожалению, преимущество кинематических опор на базе сфероидов, связанное со способностью возвращаться в исходное положение (самоцентрироваться), одновременно является и их существенным конструктивным недостатком. Дело в том, что эффект поднятия кинематической опоры при сейсмическом воздействии связан не только с возвращающим систему в исходное положение моментом, но и с поднятием самой кинематической опоры, величина которого напрямую зависит от горизонтального смещения опоры. С учетом явлений изгиба и закручивания строительного объекта вокруг своей оси, вызванных пространственным, динамическим характером сейсмического воздействия и несовпадением центра масс с центром жесткости объекта, крайние и угловые кинематические опоры по отношению к центрально расположенным опорам, смещаются на разные расстояния. В результате чего, крайние кинематические опоры поднимаются на большую величину и оказываются перегруженными. С одной стороны это не соответствует расчетной схеме, так как расчет производится из равнозначности (одинаковости) работы всех опор. С другой стороны - это ведет к нерациональному использованию материала основных несущих элементов активной сейсмозащиты и, как следствие, к повышенному расходу материальных и трудовых затрат.

В целом идея активной системы сейсмозащиты с кинематическими опорами не нова – впервые она была высказана М. Вискордини в 1925 году. С тех пор предложений об использовании кинематических опор качения как средства активной сейсмозащиты строительных объектов появилось множество систем, но их применение в практике строительства встречается довольно редко. Так, в Севастополе в 1972 году построено пятиэтажное крупнопанельное здание 6 (Рис. 1.7, е) с железобетонными поясами 2, на армоцементных опорах 1 в форме эллипсоидов вращения диаметром 6 см и высотой 5,8 см, уложенных по всей площади фундамента 7 [1, 3-11]. При натурных исследованиях было обнаружено, что часть эллипсоидов под действием веса здания со временем разрушились, что подтверждает неравномерный характер загрузки опор сейсмозащиты. При испытаниях так же выяснилось, что данное конструктивное решение не привело к существенному изменению динамических характеристик здания по сравнению с аналогичными характеристиками зданий, имеющих обычные фундаменты. Проведенные дополнительные исследования показали, что применение опор в форме эллипсоидов диаметром меньше 0.05 м не обеспечивают должную сейсмозащиту строительного объекта.

Полученные негативные результаты были учтены при проектировании двух восьмиэтажных зданий в Севастополе, где вместо опор эллипсоидов применены железобетонные стойки 1 длиной в одном случае - 41 см (Рис. 1.7, б-г, ж), а в другом - высотой на этаж (Рис. 1.7, б-в, д, ж). Нагрузка на кинематические опоры (стойки) 1 от здания 6 передается через сплошную моно-литную железобетонную плиту 2. Проведенные испытания показали, что периоды собственных колебаний здания близки к расчетным показателям и составили 2.8 с. для первого здания и 3.6 с. для второго здания.[1, 6, 8]

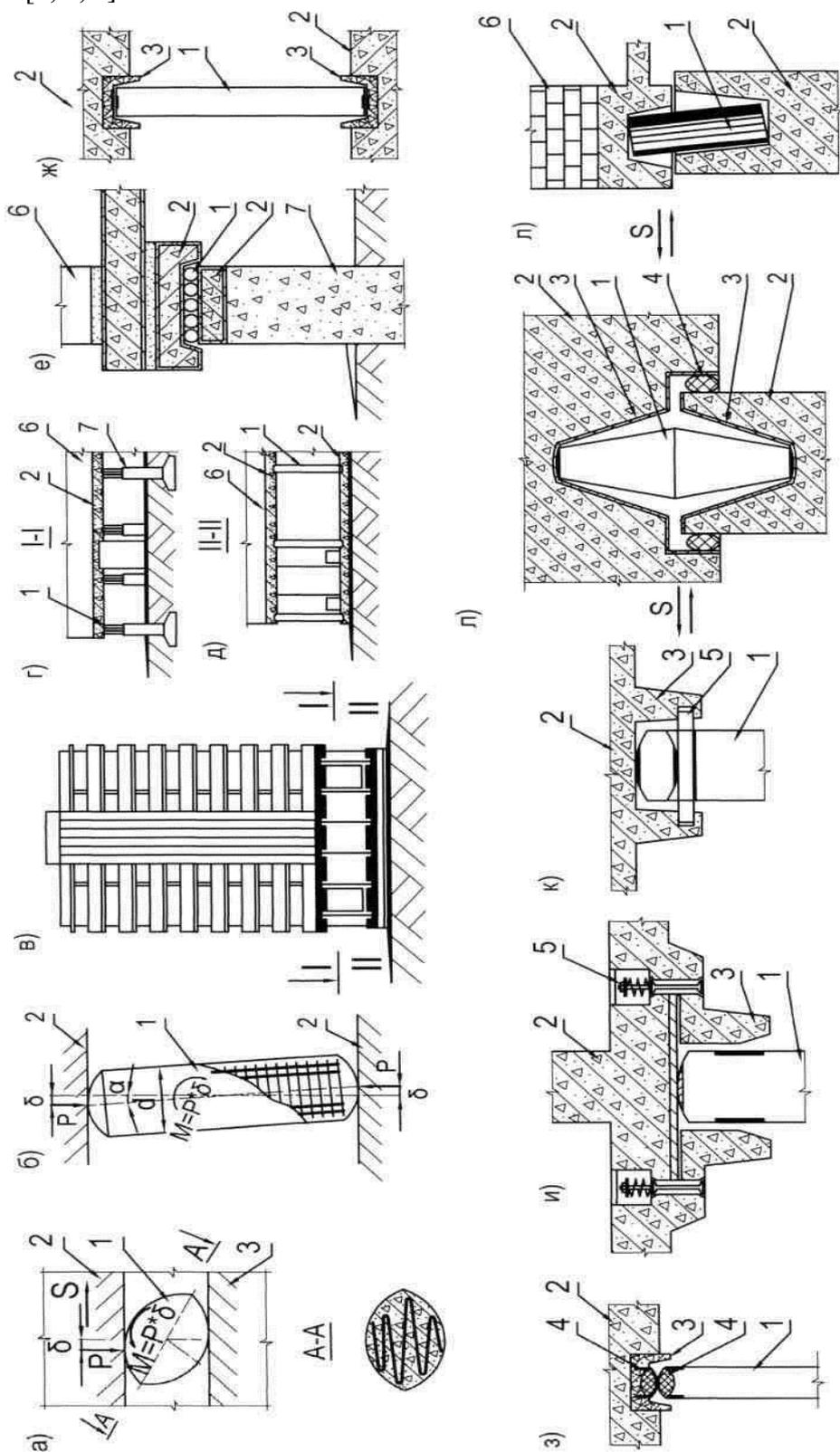


Рис. 1.7. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе сфероидов и стоек со сферическими концами:

схемы работы кинематических опор на базе: а) эллипсоидов вращения; б) стоек со сферическими поверхностями; в) здание на кинематических опорах в г. Севастополе; вариант стоек: г) высотой 41 см и д) высотой на этаж; сейсмозащита по а.с. СССР: е) №344094; ж) № 554386; з) № 618488; и) № 737608; к) № 672317; л) № 497381, м) № 573535; (все М. кл. E02 d 27/34 и h 9/02 );

1 - кинематическая опора, 2 - сборные железобетонные пояса, 3 - опорно-удерживающие стаканы, 4 - упруго-диссипативные элементы, 5 - упругий механизм амортизации, 6 - стены здания, 7 - стены фундамента (подвала).

К недостаткам данной системы сейсмозащиты следует отнести следующее:

Для обеспечения прочностных свойств по материалу, учитывая вес сейсмоизолируемого объекта и параметры сейсмических нагрузок, площади контактируемых поверхностей кинематических опор с опорными поверхностями качения должны быть либо металлическими, либо металлизированными.

Изготовление кинематических опор на базе сфероидов и стоек со сферическими торцами снабженных специальными высокопрочными контактными поверхностями, требует высокой точности изготовления, присущей скорее машиностроительному производству, чем строительной технологии.

Кроме того, при наклонах стоек возникают существенные местные напряжения, для восприятия которых требуется дополнительная арматура (Рис. 1.7, б), что ведет к повышенному расходу стали и требует применения высокоточного изготовления и монтажа сейсмозащиты. Что, в свою очередь, существенно сказывается на удорожании самой сейсмозащиты. [9-10]

И, наконец, принадлежность кинематических опор к группе систем активной сейсмозащиты с малым трением качения, дополнительно распространяет на систему сейсмозащиты еще и общие недостатки группы:

Учитывая время эксплуатации строительных объектов, измеряемое многими десятилетиями и даже столетиями, обязательно следует учитывать отложение пыли по поверхности шаровой опоры и по опорным поверхностям, способной со временем изменять значение трения качения. Вследствие чего, следует либо предусматривать средства по ограничению пылевых отложений, либо обеспечить доступ для уборки пыли, соответствующее оборудование и специа- листов.

Учитывая тот факт, что смазка оказывает существенное влияние на изменение вида трения, а значит и параметров трения качения, обязательно следует предусматривать конструктивные мероприятия, предотвращающие возможность попадания по контакту шаровой опоры качения смазки и выпадения конденсата.

Малая устойчивость объекта, из-за малой величины трения качения ( $f_{\text{кач.}} = 0.04 \div 0.05$ ), ведет к ветровой и динамической «раскачке» сейсмоизолируемой части объекта, и, как следствие, к дискомфорту людей находящихся в строении. Что нежелательно и требует специальных мер по демпфированию системы.

И, наконец, конструктивно системы с элементами трения качения не влияют на характер вертикальной составляющей сейсмического воздействия. Если учесть, что вертикальные ускорения могут достигать значений более  $1g$ , то неспособность системы воспринимать вертикальную составляющую сейсмического воздействия следует признать как существенный конструктивный недостаток системы.

К сожалению, реализация выше отмеченных пунктов связана с большой металлоемкостью, трудоемкостью изготовления сейсмозащиты, необходимостью использования специализированного, высокоточного машиностроительного оборудования, высококлассных специалистов машиностроителей и строителей, к росту эксплуатационных затрат, что неизбежно ведет к вы- сокой стоимости сейсмозащиты.

Существенно не меняют положения в лучшую сторону и все предлагаемые усовершенствования (Рис. 1.7, з-м) по улучшению систем сейсмозащиты данного типа.

Так в соответствии с а.с. СССР № 618488 (Рис. 1.7, з) с целью уменьшения вертикальных сейсмических воздействий на строительный объект, в днище стакана 3 и пустотелые, замкнутые, концевые участки стойки 1 устанавливаются упругие вкладыши 4. Несомненно, дополнительное введение амортизирующих элементов, в какой-то мере, выравнивает неравномерность поднятия

стоек кинематического фундамента и, тем самым, сглаживает неравномерное распределение нагрузки по опорам. Однако это не меняет принципа работы кинематической опоры, зато реализация идеи связана с ростом трудоемкости изготовления кинематического фундамента.

Аналогичную картину мы наблюдаем и при совершенствовании стакана стойки кинематического фундамента. Так, например, по а.с. СССР № 737608 (Рис. 1.7, и), где с целью обеспечения ускорения затухания колебаний стенки каждого из стаканов 3 прижаты к днищу подпружиненными стержнями 5 и размещены с боковым зазором относительно соответствующих частей здания.

Близкое решение сейсмоизоляции предлагается и по а.с. № 672317 (Рис. 1.7, к), где в качестве ограничителя перемещений, кроме стенок окаймляющих стаканов 3, имеются распорные стержни 5.

К сожалению, в обоих случаях возможность соударений подвижной кинематической опоры и стенок стакана пока недостаточно обоснована. Зато, как нетрудно заметить, конструкция кинематических опор 1 и стаканов 3 весьма сложна. Незначительное же улучшение работы сейсмозащиты поглощается трудоемкостью изготовления.

Наиболее технически сложной и дорогостоящей вариацией развития идеи является предложение по а.с. СССР № 497381 (Рис. 1.7, л), так как здесь наряду со сферическими выступами в кинематических опорах 1 предусмотрены еще и сферические выемки в дне стакана 3. Если к этому еще учесть величину строительных допусков и необходимую точность изготовления выемок и конструктивных элементов опор, то трудоемкость и дороговизна сейсмозащиты становится очевидной и без экономического сравнения.

Однако наихудшим усовершенствованием кинематических опор следует считать предложение по а.с. СССР № 573535 (Рис. 1.7, м), где с целью увеличения площади передачи нагрузки на опорные части и упрощения конструкции кинематического фундамента, каждый элемент подвижной связи выполнен в виде цилиндра, с плоскими торцами. Здесь упрощение формы кинематической опоры 1, с одной стороны сопровождается дополнительным моментом, связанным с динамическими подвижками опоры и удаленностью ребра опоры по отношению к ее центру тяжести. А с другой стороны – это приводит к неоправданной концентрации усилий в узкой зоне контакта дна стакана опоры с контуром ребра цилиндрической опоры. Для обеспечения эффективной и надежной сейсмозащиты, оба фактора являются негативными и, таким образом, вместо улучшения сейсмозащиты имеет место преднамеренное ухудшение ее работы.

### 1.3.1.3. Опоры или пояса скольжения

Системы сейсмоизоляции использующие в качестве фрикционной пары элементы с низким коэффициентом трения получили условное название **скользящих опор (поясов)**. При столь же малом, как и опор качения, трении  $k_{\text{скол.}}=0.05\div 0.07$  (для фторопласта и графита по металлу), площадь контакта фрикционной пары зависит от площади фрикционного взаимодействия опоры скольжения, что обеспечивает сейсмозащите со скользящими опорами конструктивную простоту, а малая стоимость фрикционного материала опоры – еще и низкую себестоимость изготовления. При этом наилучшими показателями среди антифрикционных материалов на базе полимеров обладают политетрафторэтилен (фторопласт 4) и полихлортрифторэтилен (фторопласт 3), на базе полимер-графитовых композиций – композиция КФ-3Г, графитовый волокнит (Г5÷Г30) и графитовые смазки. [1]

Учитывая важность и широкое применение активных систем сейсмозащиты со скользящими поясами в строительной практике, особо остановимся на особенностях трения скольжения и

соответствующих свойствах фрикционных материалах.

Величина трения скольжения является функцией относительной скорости скольжения  $V$ , нагрузки  $P$ , средней величины угла при вершине всех находящихся в зацеплении шероховатостей, а также факторов, определяющих расширение, нагрев и пластическое деформирование материалов трущихся тел. Различие коэффициента трения покоя и скольжения при сухом трении твердых тел растет с увеличением доли упругих деформаций. При трении скольжения доля пластической деформации материала тем больше, чем ниже его предел упругости  $\sigma_E$  и чем больше его модуль упругости  $E$ . Однако чем больше  $E$ , тем выше сопротивление деформированию в упругой зоне и тем меньше деформации, при которых наступает пластическое изменение формы тела, превышающие  $\sigma_E$ . Таким образом, пластическая доля общей деформации является функцией отношения  $E/\sigma_E$ . Это положение имеет особое значение применительно к антифрикционным пластмассам, которые характеризуются низкими числовыми значениями  $E$ . [1-2]

При упругом деформировании микрошероховатостей тела его кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию без образования тепла. Тепло в процессе трения образуется за счет работы пластических деформаций. В этом случае в тепло переходит около 90% затраченной энергии, остальная энергия - расходуется на повышение внутренней энергии материала. Часть энергии гасится затухающими колебаниями, при внутреннем демпфировании которых возникает тепло за счет незначительных пластических деформаций. [1]

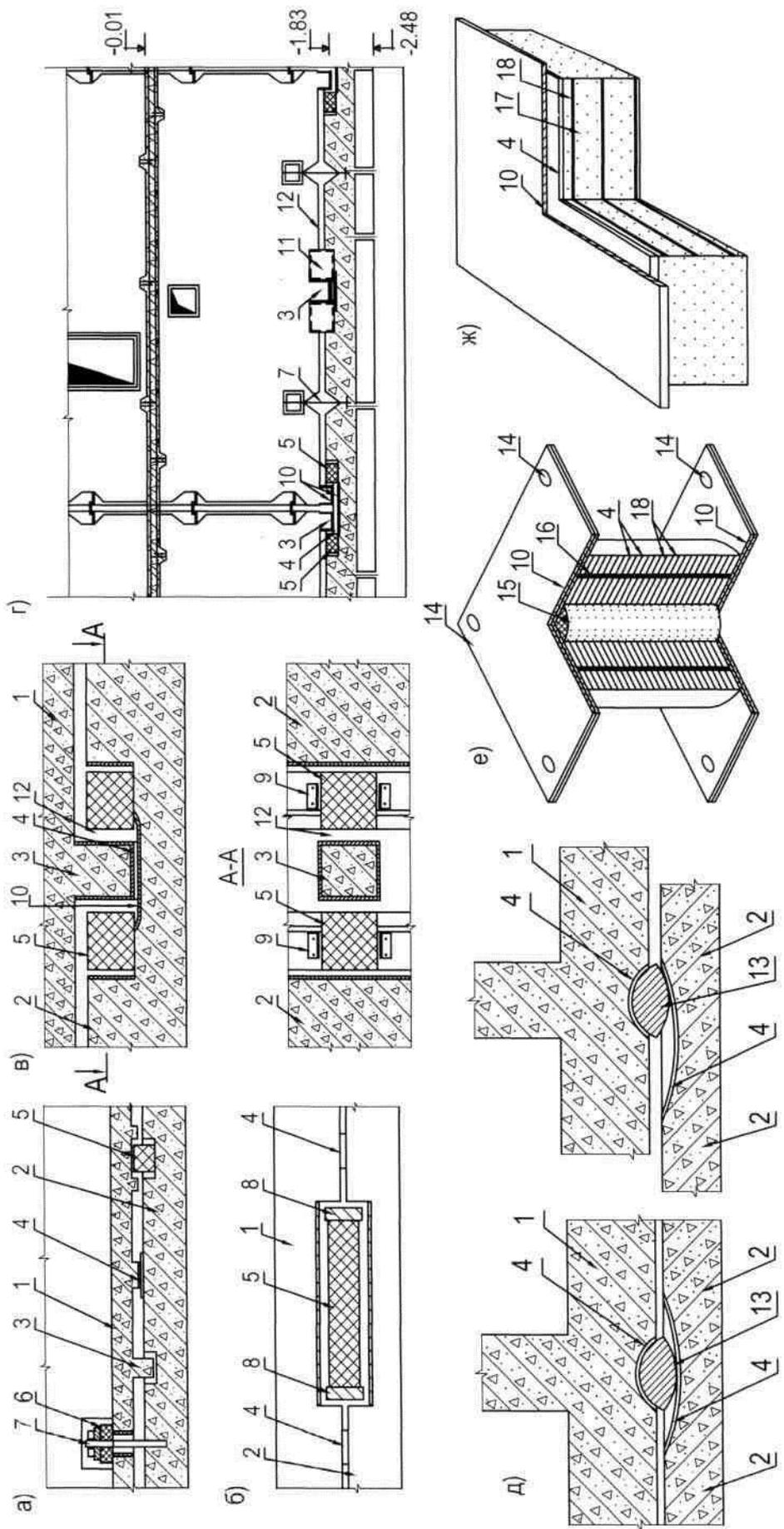
При трении только в промежуточных слоях выделенное в них тепло частично эвакуируется через детали фрикционной пары. При смешанном трении непрерывно меняются поверхности соприкосновения. В каждый данный момент по поверхности трущихся тел образуются новые площадки контактирования, включающие участки взаимного внедрения. Возникающее на контактах тепло распределяется между трущимися телами и промежуточным слоем. Распределение тепловых потоков из зоны трения между телами трущейся пары, при прочих равных условиях, зависит от теплопроводности этих тел. Поэтому в металлополимерных парах трения, с весьма низкой теплопроводностью пластмасс, эти потоки крайне неравномерны. Правда, при использовании антифрикционных полимеров в системе сейсмозащиты, учитывая малое время действия землетрясений (от 40 сек до 2.5 мин) и относительно малые скорости смещения (0.05-1.5 м/с) тепловое влияние на взаимодействие трущихся тел будет сказываться незначительно. И, тем не менее, полностью пренебрегать отмечаемым явлением не следует. В частности при подборе фрикционных пар с низким трением скольжения предпочтение следует отдавать термостабильным антифрикционным полимерам либо предусматривать специальные, конструктивные мероприятия по отводу тепла из зоны контакта фрикционной пары.

Следует особо выделить, что на числовое значение коэффициента скольжения оказывают влияние множество факторов – это и колебание влажности и температуры помещения, разница в настройке машин и приборов по определению параметров трения. Для образцов из антифрикционных полимеров существенным оказывается даже тот факт движутся ли они относительно металлического тела или последнее перемещается по отношению к закрепленному полимеру. Значение кинематического коэффициента трения в последнем случае будет больше, чем при закрепленном металлическом теле. Вследствие чего, коэффициент трения одинаковых полимерных материалов, снабженных однотипными паспортами, но изготовленных в различных партиях, а тем более разными заводами, отличаются друг от друга. Таким образом, чтобы обеспечить одинаковые проектные параметры трения скольжения всем фрикционным парам, при изготовлении систем сейсмозащиты со скользящими поясами следует использовать фрикционные пары одной заводской партии и особо уделить внимание защите поверхностей фрикционной пары

от химических и механических загрязнений. Другими словами, изготовление систем со скользящими поясами требует высокой культуры производства – предпочтительно фрикционный узел следует изготавливать в заводских условиях, а монтировать уже на строительной площадке.

Конструктивно системы со скользящими поясами не сложны и представляют собой верхний 1, нижний 2 опорные пояса, между которыми располагается скользящий пояс (Рис. 1.8, а). При этом нижний опорный пояс выполняется с рядом выемок, а верхний – с рядом железобетонных (или металлических) выступов 3, которые располагаются с конструктивным зазором внутри выемок нижнего опорного пояса. Скользящий пояс, с целью экономии материала, выполняется в виде фторопластовых пластин 4, располагаемых под выступами 3 по всей площади выемки.

При слабых колебаниях основания ускорения с основания передаются на здание, как при жесткой связи с фундаментом. При увеличении параметров ускорения - силы трения преодолеваются, и фундамент начинает проскальзывать относительно сейсмоизолируемой части строения. С этого момента усилия от сейсмических нагрузок в элементах несущих конструкций практически не изменяется, что приводит к ограничению инерционных сил, возникающих в выше лежащих этажах. Для ограничения взаимных горизонтальных перемещений строения по отношению к фундаменту в систему сейсмоизоляции входят упругие 5 (резинометаллические) и жесткие (железобетонные) ограничители 3. Для предотвращения возможности отрыва здания от фундамента дополнительно предусматриваются упругие 6 амортизаторы и ограничители вертикальных перемещений – вертикальная связь 7.[4-7] Аналогичным по своей сути является и техническое предложение по а.с. СССР № 746045 (Рис. 1.8, б), в котором фундамент сейсмостойкого здания так же состоит из верхнего 1 и нижнего 2 железобетонных опорных поясов, между которыми располагаются подвижные фрикционные опоры (пластины) 4 и горизонтальные амортизирующие опорные элементы 5, воспринимающие горизонтальную нагрузку. Отличие заключается в том, что с целью повышения надежности системы сейсмозащиты, каждый горизонтальный амортизирующий элемент 5 снабжен подвижными упорами 8, установленными по его концам, и симметрично размещается в корытообразных углублениях верхнего 1 и нижнего 2 опорного пояса. При сейсмическом воздействии нижний опорный пояс 2, благодаря инерции здания и подвижности фрикционных опор 4, вместе с одним подвижным упором 8 при неподвижности другого подвижного упора 8, начинает перемещаться относительно верхнего опорного пояса 1. В результате сближения подвижных упоров горизонтальный амортизирующий элемент сближается на проектную величину. Благодаря упругим характеристикам горизонтального амортизатора предотвращается динамический удар и обеспечивается плавное затухание энергии колебания. При этом амортизирующие опорные элементы при отсутствии сейсмической нагрузки могут быть легко заменены. [3-4, 8-12]



**Рис. 1.8. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе скользящих поясов:**

а) общая схема; б) вариант по а.с. СССР: № 746045; совместная разработка: в) ЦНИИСК им. Кучеренко, ФПИ и Фрунзеголпроект (а.с. СССР № 102117118) и г) ЦНИИСК с КБ по железобетону им. Якушева;

вариант: д) по а.с. СССР № 1254117; вариант многослойной резино-металлической опоры: е) США и ж) Италии;

железобетонные: 1 - верхний и 2 - нижний опорные пояса, 3 - опорный выступ, 4 - фторопластовая пластина (тефлон), 5 и 6 - горизонтальные и вертикальные амортизаторы, 7 - вертикальная связь, 8 - торцевой, подвижной упор, 9 - анкерная удерживающая система, 10 - опорные стальные пластины, 11 - домкраты, 12 - конструктивный зазор, 13 - подвижная опора, 14 - отверстия для крепления опор к конструкциям сооружения, 15 - центральный и 16 - периферийные резиновые стержни, 17 - слой резины; 18 - внутренний стальной лист.

Правда, если детально проанализировать отмеченное техническое решение, то выяснится, что роль, вводимых в систему сейсмозащиты подвижных торцевых упоров 8, несущественна и сводится всего, лишь к смягчению ударного воздействия при горизонтальных динамических подвижках опорных поясов 1 и 2. Наиболее существенная функция сейсмозащиты приходится на подвижные фрикционные опоры 4, благодаря низкому трению которых, на сейсмоизолированную часть строительного объекта существенно снижается горизонтальная составляющая сейсмического воздействия.

Кроме этого, учитывая малую толщину антифрикционных поясов, почти без изменений остается вертикальная составляющая сейсмического воздействия. Если учесть, что вертикальное ускорение может достигать значений больших значений, нежели ускорение свободного падения  $g$ , то отсутствие конструктивных мероприятий по снижению вертикальной составляющей сейсмического воздействия следует признать недостатком системы. К сожалению, данное обстоятельство характерно для большинства систем специальной сейсмозащиты.

Непосредственно, специальная сейсмозащита строительных объектов на базе скользящих поясов, с фрикционной парой фторопласт-нержавеющая сталь, реализована на нескольких зданиях в городах: Фрунзе, Северобайкальске, Петропавлоск-Камчатском, Тбилиси, Ашхабаде, Феодосия, при расчетной сейсмичности площадок строительства от 7 до 9 баллов. На 5 и 9-этажных крупноблочных домах в г. Фрунзе проведены натурные вибрационные испытания [3-4, 8, 10]. Результаты показали высокую эффективность данной сейсмозащиты, в частности, при воздействиях с расчетной сейсмичностью в 9 баллов, на этапе установившегося скольжения величины перерезывающих сил в уровне первого этажа соответственно оказались в 2.5-3 и 5-5.5 раз меньше расчетной. В тоже время, в нормальных условиях, при воздействиях, ниже расчетных, сооружение работает как обычное - с жесткой кинематической связью между фундаментом и выше лежащих конструкций. [3-4, 8-17]

Особо выделим тот факт, что в процессе всех динамических испытаний систем со скользящими поясами коэффициент трения скольжения оказался стабильным и находился в пределах  $f_{\text{сколь}} = 0.06$ .

А так же отметим повышенную чувствительность системы к различного вида эксцентриситетам, геометрическим и массо-жесткостным неравномерностям строительного объекта. [3-4, 8-17]

Разработчиками ЦНИИСК им. Кучеренко и во взаимодействии с Фрунзегорпроект, ФПИ, исходя из опыта проектирования и строительства зданий, рекомендуются скользящие опоры 4 совмещенного типа (Рис. 1.8, в), в которых, в пределах одного устройства, одновременно размещены как упругие опоры 5, так и жесткие ограничители перемещений (выступ 3 и ребра выемки в фундаменте 2). Для удержания упругих элементов в проектном положении используется анкерная удерживающая система 9.

При этом скользящие опоры с горизонтальной опорной поверхностью рекомендуется применять для зданий высотой до 5 этажей, а для более высоких зданий - рекомендуются использовать (техническое решение по а.с. СССР № 1021718) скользящие опоры с наклонными участками с величиной наклона до 6% [9], призванные самостоятельно возвращать сейсмозащиту в ее исходное положение. Однако, при малом угле наклона скользящих участков поверхности опоры, силы, возвращающие систему в проектное положение, будут незначительными, а значит и возвращающий систему в проектное положение эффект будет небольшим, что не решает задачу стабилизации объекта в проектном положении, но существенно усложняет организацию

сейсмозащиты.

Одним из основных мероприятий по расширению объемов строительства зданий с си- стемой сейсмозащиты является разработка технологичных решений скользящих опор, макси- мальной унификации типоразмеров элементов ростверка и верхней обвязки фундамента. Это достигается применением сборно-монолитных и сборочных конструкций скользящего пояса, в том числе с использованием типовых цокольных панелей. Такое решение разработано КБ по железобетону им. Якушева и ЦНИИСК им. Кучеренко применительно к пяти- и девятиэтажным жилым домам серии 135 [3-4, 10]. Поступающие на монтаж цокольные панели с пластинами из фторопласта 4 устанавливают на стальные опорные пластины 10, забетонированные в монолитном железобетонном поясе 2 по верху сборных железобетонных блоков (Рис. 1.8, г). Соединение цокольных панелей между собой осуществляют с помощью шпонок 3, как принято в типовом проекте серии 135. Все остальные надземные конструкции зданий используют без каких-либо изменений. Такое сборно-монолитное решение элементов скользящего шва позволяет унифицировать проектные решения конструкций для районов с различной сейсмичностью и добиться существенного повышения эффективности от использования системы сейсмозащиты, исключая необходимость переналадки оборудования ДСК и заводов ЖБИ.

Следующее техническое решение конструктивно похоже на сейсмоизоляцию с шаровыми опорами в выемках. Отличается она между собой лишь конструкцией опорного элемента, да видом трения: в одном случае – это опора качения и трение качения, в другом - опора скольжения и трение скольжения.

Так в соответствии с техническим решением по а.с. СССР № 1254117 (Рис. 1.8, д), фундамент сейсмостойкого здания состоит из верхнего 1 и нижнего 2 опорных поясов, снабженных сферическими выемками с фторопластовым покрытием 4, внутри которых располагаются опоры скольжения 13

Если учесть конструктивную схожесть опорных элементов и близость значений параметров трения, то общий вывод сведется к следующему: проще, эффективнее и надежнее использовать систему без выемок.

Заслуживает внимание возможность комбинированного применения систем со скользящими поясами и использования ее фрикционных элементов в составе других систем.

Так с целью повышения сейсмоизолирующего эффекта у многослойных резинометаллических опор, специалистами Греции, Италии, Америки и Франции предлагается их применение в сочетании с фторопластовыми прокладками или смазками с низким коэффициентом  $f_{\text{сколь.}} = 0.04 \div 0.06$  трения скольжения (Рис. 1.8, е и ж).

Такое конструктивное решение резинометаллических опор, обеспечивает, при горизонтальном силовом воздействии, проскальзывание конструкций надземной части относительно его опор и, тем самым, снижает сдвиговые деформации в элементах опор. Необходимая горизон- тальная жесткость системы и ограничение перемещений обеспечивается с помощью резиновых элементов, например, не воспринимающих вертикальных нагрузок и работающих только на сдвиг резиновые стержни 16 и 16. Отчасти это, при закручивании строительного объекта вокруг своей оси при сейсмическом воздействии, уменьшает перегрузку крайних, угловых опор. Однако, к сожалению, в целом проблемы эффективной и надежной сейсмозащиты не решает.

Кроме этого, у отмечаемых комбинированных систем, проявляются негативные недостатки, присущие резинометаллическим опорам: старение резины со временем, наличие возможности

температурных изменений физических свойств резины, высокая стоимость, горючесть резины. Что негативно сказывается на возможности практического использования данных систем.

**В целом, по сравнению с другими системами сейсмозащиты, системы со скользящими поясами надежны, экономичны, просты в изготовлении и эксплуатации. Вследствие чего, у системы со скользящими поясами имеют хорошую перспективу развития. Имеющиеся недостатки (в частности, такой серьезный недостаток как неспособность системы воспринимать вертикальную составляющую сейсмического импульса) могут быть устранены посредством комплексного объединения с другими системами специальной сейсмозащиты. Вследствие чего система заслуживает повышенного внимания, поддержки, развития, исследований на теоретическом и экспериментальном уровне. При этом особый научно-практический интерес вызывает поведение узлов и элементов системы в условиях сильных землетрясений, так как полученная информация позволяет выработать наиболее эффективные и надежные способы и методы организации сейсмозащиты.**

### **1.3.2. Системы с повышенным трением или демпфированием**

#### **1.3.2.1. Демпферы сухого трения на базе песчаных или глинистых подушек**

Системы сейсмозащиты с повышенным трением (демпфированием) подразделяются: на системы на базе песчаных или глинистых «подушек» (засыпок) и системы на базе «сухого» стыка.

Системы специальной сейсмозащиты на базе использования сухого трения – это одни из самых простых систем, насчитывающих тысячелетний опыт практической реализации. Конструктивно они представляют собой систему в виде жесткой сейсмоизолируемой части 1 строения, фундаментной плиты 3 и расположенной между ними песчаной или глинистой «подушки» (засыпки) 2 (Рис. 1.9, а).

В древности фундаментная плита была очень массивной и собиралась из множества каменных блоков. По сути дела, каменная платформа представляла собой искусственную гору, массивность которой служила средством по сглаживанию пиковых сейсмических импульсов. Необходимо обратить внимание на идеальную форму этой горы с точки зрения сеймики: равномерное и симметричное расположение масс и пониженное расположение центра тяжести всего сооружения. Строительство на таких платформах прослеживается во многих древних государствах от Японии и Китая до древних государств Америки: Майя и Инков; от Индии, Вавилона, Персии, Египта, до Древней Греции и Рима. [1-4]

Конструктивным историческим примером использования данного вида сейсмозащиты может служить, возводимая в Древнем Египте в IV тысячелетии до н.э. в Дер эль-Бахри пирамида Рамсеса. Чтобы избежать возможного во время землетрясения скольжения фундамента по скале, выходящую на поверхность в виде откоса, ее разровняли и сделали горизонтальной. Отметим, что для обеспечения горизонтальности, в скале пришлось выбить выемку размером 240х40м. Дно котлована было ступенчатым с высотой уступов около 0.5 м. Затем на ступенчатое дно котлована насыпали и разровняли сухой песок, устроили каменную платформу, состоящую из многих тысяч каменных блоков, и возвели пирамиду. [2-3]

Такой же вариант сейсмозащиты реализован и при возведении в 500 г. до н.э. цитадели- замка персидского царя Кира. При этом антисейсмические отличия системы сводятся лишь к меньшему

объему каменной платформы (78x79 м) и ее расположению у вершины холма [2-3].

Аналогичная методика подготовки грунтового основания просматривается и у древних строителей Средней Азии. По степным и пустынным районам Хорезма (III-VI вв. н.э.) разбросано немало сооружений на песчаной «подушке». И здесь скалистые неоднородные грунты выравнивались с помощью устройства котлованов с последующим засыпанием их песком. В качестве конкретного практического примера может служить Мавзолей на горе Техт-и-Сулейман около города Ош. [2-3]

Наряду с песчаными «подушками», древние строители Средней Азии широко и активно использовали и глиняные «подушки». В частности такую пластично глиняную подушку можно наблюдать почти под всеми памятниками архитектуры X - XVII вв. [5-6].

Как показывает опыт, хорошо промешанная, определенной влажности, защищенная от высыхания, сырая гончарная глина обладает высокими долговечными пластическими свойствами. Это и учли древние строители.

Как видим из приведенных примеров, в целом, несмотря на различие во фрикционном материале засыпок: песок и глина, функции и назначение у «подушек» 2 одинаковы:

с одной стороны это обеспечение равномерной передачи нагрузки на основание 4 и обеспечение равномерности осадок строительного объекта 1;

с другой стороны – за счет параметров коэффициента трения скольжения камня по песку ( $k_{\text{сколь}} = 0.5 \div 0.7$  в сухом состоянии) или камня по глине ( $k_{\text{сколь}} = 0.45 \div 0.65$  в сухом состоянии и или  $k_{\text{сколь}} = 0.3 \div 0.33$  во влажном состоянии), обеспечить снижение сейсмического воздействия на объект [5-15]. Различие в работе определяется особенностями физико-механических свойств песка и глины. На предпочтение в использование сказывается как наличие материала вблизи места строительства, так исторический опыт и традиции населения.

Одновременно с трением материал подушек обладает еще такими, полезными для нас физико-механическими особенностями, как упругостью и волновой дифракцией. [16-19]

В частности, благодаря силам упругости, материал подушек при вертикальных сейсмических воздействиях срабатывает еще и как амортизатор, вследствие чего, гасится часть негативного сейсмического воздействия.

Затем, благодаря волновой дифракции, песок и глина, составляющие подушек, отражают и преломляют сейсмические волны. При этом, так как подушки фильтруют волны определенной частоты, то зная частоту волны, мы можем организовать строительную систему таким образом, чтобы в ней не было резонансных (пиковых) частот. На практике это означает более качественную и эффективную организацию и обеспечение сейсмозащиты.

И наконец, благодаря явлению дифракции сейсмических волн в материале засыпок, мы можем обеспечивать снижение сейсмического воздействия на 2-3 балла. [20-22].

Особо отметим, что все отмечаемые выше физические особенности материала подушек, являются неотъемлемыми составляющими материала, разное проявления которых обусловлено лишь внешними условиями и обстоятельствами. Заранее, искусственно подбирая и организовывая которые, мы можем программировать нужную нам реакцию и поведение строительной системы. В строительной практике песчаные и глинистые засыпки используются двояко: в качестве подушки и в качестве волновые завесы (волновые экраны).

Назначение каменной платформы (фундамента) 3 более многоцелевое - это и оборонительное, эстетическое - произвести впечатление на верующего или подданного, подавить его величием, когда он приблизится к храму или дворцу, создать надежный фундамент под

сооружением. Однако основная, конструктивная идея каменных платформ – это за счет гигантской массы и большой жесткости выровнять, срезать пиковые сейсмические импульсы. В результате чего, строительные объекты, находящиеся на платформе, уже не разрываются несинхронными движениями их отдельных частей, а движутся с фундаментом как единое целое. [1-5]

Если учесть, что ряд объектов, например, пирамиды, построенные по данному принципу тысячелетия назад, успешно существуют и до сих пор, то отмечаемый принцип активной сейсмозащиты следует признать весьма успешным.

С другой стороны, к сожалению, многие религиозные и дворцовые комплексы, так же построенные на гигантских каменных платформах разрушились, не выдержав испытания временем и сейсмическими воздействиями, что, несомненно, сокращает перспективу возможного использования идеи в современной строительной практике. Если к этому еще добавить высокую материалоемкость и трудоемкость реализации технического решения в его оригинальном представлении, то первоначальное исполнение идеи в современных условиях однозначно представляется бесперспективным. Хотя рациональное «зерно» в идеи есть.

Естественно, что современные условия и технические возможности, при неизменности основной идеи, внесли в нее свои определенные корректировки и изменения. Так, например, вместо массивной фундаментной плиты, уже используется компактная система железобетонных опорных плит 6-7 (Рис. 1.9, а-д).

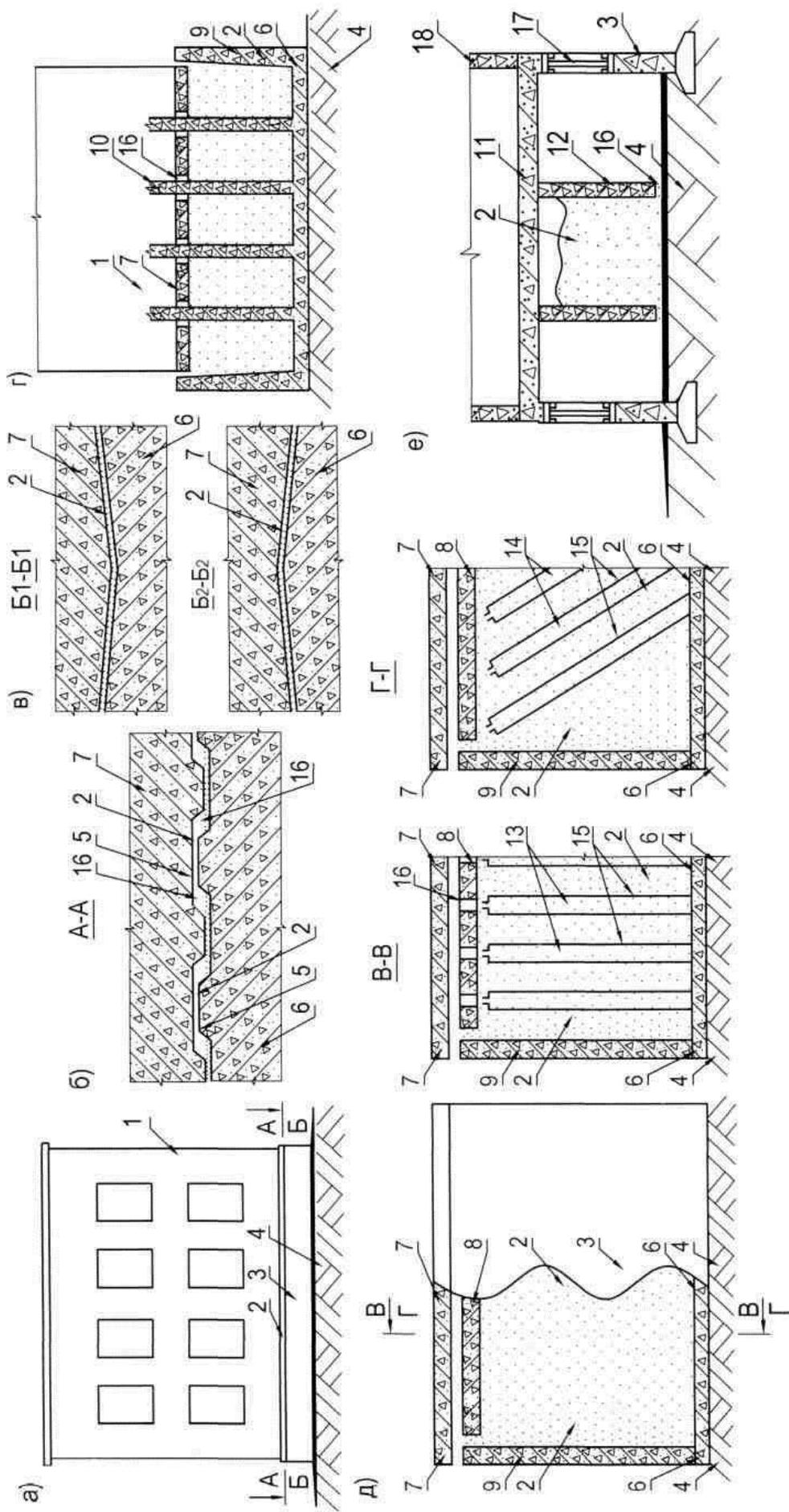
В частности, в КНР разработаны конструкции малоэтажных кирпичных или каменных зданий («здания, построенные на песке») с системой сейсмоизоляции со скользящим поясом, выполненной в виде фундамента здания 3, состоящего из верхнего 6 и нижнего 7 опорных железобетонных поясов и тонкого слоя специального песка 2, расположенного между опорных поясов. По этой технологии в КНР построено четыре кирпичных здания: три из них – одноэтажные, четвертое – четырехэтажное. Проведено испытание одного одноэтажного «здания построенного на песке», со стенами из материала низкого качества на сейсмозрывное воздействие. Здание успешно выдержало воздействие сильных колебаний грунта.[2]

Менее удачным вариантом развития идеи является техническое предложение по а.с. СССР

№ 525780 (Рис. 1.9, а-б), где с целью повышения сейсмостойкости строительного объекта, опорные железобетонные плиты 6 и 7 сейсмозащиты предлагается выполнять с чередующимися выступами и впадинами 5, которые входят друг в друга с конструктивным зазором 1б. Кроме этого выступы и впадины выполняются со скошенными краями, а шов, образованный опорными плитами заполнен сыпучим материалом (песком) 2.

По мнению автора идеи, считается, что такая конструкция подвижного фундамента может привести к ограничению сейсмического воздействия на сейсмоизолированную часть строения.

При этом сыпучий материал 2, заполняющий полости и выступы нижней опорной плиты 6, предохраняет строительный объект 1 от резких ударов и демпфирует колебания, а имеющиеся в опорных плитах выступы при землетрясении будут работать и как стойки-опоры, и как ограничители сейсмических смещений.



**Рис. 1.9. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе песчаных или глинистых "подушек":**

- а) вариант сейсмозащиты на "песчаной подушке", вариант по а.с. СССР: б) № 5257804; в) № 747939;
- г) № 699107; д) № 1164367; е) № 545737 (все М. кл. E04 d 27/34 а по а.с. № 545737 еще и h 9/02);
- 1 - сейсмозащищаемый строительный объект, 2 - "подушка" (засыпка), 3 - фундамент, 4 - основание, железобетонные изделия: 5 - система выступ-впадина, 6 - нижняя, 7 - верхняя и 8 - промежуточная опорные плиты, 9 - фундаментная коробка, 10 - вертикальная стойка, 11 - плита перекрытия, 12 - бункер, металлические изделия: 13 - вертикальные и 14 - наклонные соединительные стержни, 15 - охватывающая обойма с зазором; 16 - конструктивный зазор, 17 - сейсмозащита на кинематических фундаментах, 18 - стены здания.

Однако в силу действия физических законов, реальная картина работы отмечаемой сейсмозащиты будет существенно отличаться от предполагаемой авторами идеи. Начнем с того, что смещение при сейсмическом воздействии нижней 6 и верхней 7 железобетонных опорных плит фундамента друг относительно друга будут происходить в рамках зазора 16 между выступами опорных плит, причем, только в одной плоскости. Для восприятия сейсмической нагрузки в другой плоскости придется продублировать всю конструкцию сейсмозащиты. В результате получится своеобразная перекрестная система, состоящая из выступов и впадин, входящих друг в друга с конструктивным зазором. Однако если учесть случайный, периодический и пространственный характер сейсмического воздействия и, в частности, возможность закручивания сейсмоизолируемой части строения по отношению к фундаменту, то перекрестное расположение выемок и впадин в опорных плитах через выступы приведет к череде динамических соударений, а значит к нежелательной передаче сейсмического воздействия на сейсмоизолируемую часть строения. Что ведет к ухудшению эффективности и надежности сейсмозащиты. К негативным факторам следует отнести трудоемкость изготовления опорных поясов в виде чередующейся системы выступов и впадин.

Вариант сейсмозащиты по а.с. СССР № 747939 (Рис. 1.9, а, в) является своего рода комбинацией, в которой идея сейсмозащиты на базе песчаных «подушек» совмещена с идеей работы фрикционной системы на плоскости. При этом целью объединения идей выступает стремление авторов новации одновременно снизить негативное влияние сейсмического воздействия на сейсмоизолируемый объект и обеспечить динамической системе устойчивое положение относительно ее проектного положения. Для чего нижней 6 и верхней 7 железобетонным опорным плитам фундамента придается вид выемки с наклонными краями, а зазор, имеющийся между плитами, заполняется сыпучим материалом 2.

К сожалению, при малых углах наклона краев выемки работа системы не будет отличаться от уже ранее рассмотренных активных систем, при больших углах наклона выемки – силы трения и гравитации сработают как фиксирующий механизм, переведя отмечаемую активную сейсмозащиту в разряд обычных строительных систем. Отсюда вывод о конструктивной и экономической нецелесообразности использования отмечаемого технического решения в строительной практике.

Другим направлением усовершенствования основной идеи являются предложения по замене глубоких котлованов на более компактные железобетонные, коробчатые конструкции (Рис. 1.9, г-д). Что переводит сейсмозащиту в разряд более экономичных и привлекательных.

Так в соответствии с техническим решением по а.с. СССР № 699107 (Рис. 1.9, г) активная система выполняется из железобетонного коробчатого фундамента 9, верхней 7 опорной плиты, снабженной сквозными отверстиями 16, ряда вертикальных стоек 10, размещенных на днище фундамента и пропущенных через сквозные отверстия 16 верхней опорной плиты 7 и сыпучей «подушки» 2, располагаемой в коробчатом фундаменте под опорной плитой 7.

Принцип сейсмозащиты заключается в том, что во время сейсмических толчков происходит горизонтальное смещение строительного объекта 1 по слою сыпучего материала 2. Отметим, что смещение динамической системы осуществляется в рамках конструктивного зазора 16. В результате фрикционного взаимодействия опорной плиты 7 с засыпкой 2 происходит уменьшение воздействия на сейсмоизолируемую часть строения. При этом вертикальные, железобетонные стойки 10, за счет своей гибкости (или жесткости) одновременно ограничивают сейсмические перемещения и удерживают строительный объект 1 от опрокидывания.

В целом, это вполне работоспособный вариант сейсмозащиты. Однако система стала бы технически еще более привлекательной, если бы ее удалось оснастить элементами сейсмозащиты

или объединить с активной системой, способной воспринимать вертикально сейсмическое воздействие.

Другим вариантом развития отмечаемой идеи является техническое решение по а.с. СССР № 1164367 (Рис. 1.9, д). Здесь, с целью повышения эффективности гашения сейсмических колебаний, наряду с коробчатым, железобетонным фундаментом 9, сейсмозащита дополнительно еще промежуточной железобетонной плитой 8 и несколькими рядами вертикальных 13 и наклонных 14 соединительных стержней. При этом все соединительные стержни 13 и 14 своими нижними концами жестко заделаны в нижнюю опорную плиту 6 фундамента. Одновременно с этим верхние концы у наклонных стержней 14 жестко заделаны в промежуточную железобетонную опорную плиту 8 фундамента, а вертикальные соединительные стержни 13, пропущены через зазоры 10 промежуточной опорной плиты 7 и жестко заделаны в верхнюю опорную железобетонную плиту 8. Кроме этого, все соединительные стержни 13 и 14 снабжены ограничителями прогиба, в виде охватывающих их с зазором обоймы 15, нижние концы которой жестко закреплены в нижней опорной плите 6 фундамента.

По мнению автора идеи, считается, что вертикальная нагрузка от строительного объекта 1 воспринимается вертикальными соединительными стержнями 13, а горизонтальная – наклонными соединительными стержнями 14. Под действием нагрузки от собственного веса строительного объекта и при слабых сотрясениях, когда сила толчка не представляет опасности для сейсмоизолируемого объекта, соединительные стержни 13 и 14 сохраняют устойчивую прямолинейную форму равновесия и сейсмоизоляция работает как жесткая конструкция. Однако когда нагрузка достигает своего критического значения, соединительные стержни 13 и 14 теряют устойчивость и изгибаются. При этом верхняя 7 и промежуточная 8 опорные плиты фундамента перемещаются относительно нижней опорной плиты 6, амортизируя тем самым толчок, передаваемый сейсмоизолируемой части строения. Причем амортизация верхнего и горизонтального толчков происходит независимо. После прекращения землетрясения соединительные стержни 13 и 14 восстанавливают прямолинейную форму равновесия и возвращают верхнюю 7 и промежуточные 8 опорные плиты в их исходное положение. При воздействии на сооружение динамической нагрузки от периодических колебаний почвы, что вызывает колебания стержней 13 и 14 вследствие периодической потери и восстановления устойчивости, сыпучий материал 2 внутри короба способствует интенсивному гашению, рассеивая энергию в виде тепла. Таким образом, сейсмоизоляция обеспечивает двойкий эффект: амортизирует толчок, передаваемый верхнему строению, а также интенсивно рассеивает энергию в виде тепла. К сожалению, и здесь декларируемая и реальная работа сейсмозащиты не совпадают друг с другом, так как упускается из виду ряд существенных моментов:

Во-первых, песчаная засыпка («подушка») в железобетонном коробе 5 под промежуточной опорной плитой 8 фундамента, находится в состоянии объемного сжатия и тем самым ограничивает возможность дальнейшей осадки опорной плиты 8.

Во-вторых - наклонные соединительные стержни 14, работающие как растяжки, ограничивают возможность горизонтального и вертикального смещения промежуточной опорной плиты 8. Мало этого, гибкость всех соединительных стержней 13 и 14 дополнительно, за счет охватывающих обойм 15, еще и ограничена. В результате чего у отмечаемой фундаментной системы имеется только одна степень свободы, связанная с поворотом относительно вертикальной оси. При объемном характере сейсмического силового воздействия это искусственно и неоправданно уменьшает возможности сейсмозащиты, так как исключает возможность диссипации сейсмической энергии за счет горизонтального фрикционного проскальзывания промежуточной

опорной плиты 8 фундамента по засыпке 2, заполняемой железобетонный фундаментный короб

9. Таким образом, пока, кроме увеличения массы фундамента и его стоимости мы никаких положительных эффектов мы не получили.

Учитывая высокие диссипативные свойства песчаных и глинистых подушек, они могут быть использованы не только в качестве сейсмоизолирующих систем, но и как динамические стабилизаторы (гасители). Дело в том, что в нашей повседневной жизни импульсные ветровые воздействия наблюдаются много чаще сейсмических, да и время их проявления определяется значительно большими значениями. При большой кинематической податливости многих видов активной сейсмозащиты, их взаимодействие с импульсным ветровым воздействием ведет к нежелательной раскачке сейсмоизолируемой части строения и, как следствие, к дискомфорту людей и необходимости в специальной защите инженерных сетей и коммуникаций. Направленное демпфирование позволяет нам одновременно обеспечить и нужную устойчивость строительного объекта к ветровому воздействию, и нужную сейсмостойкость.

В качестве конкретного примера такого применения сейсмозащиты может служить техническое предложение по а.с. СССР № 545737 (Рис. 1.9, е), соответствии с которым перекрытие подвала 11 дополнительно снабжено железобетонным бункером 12, образующим с основанием 4 световой зазор 16. Внутренне пространство бункера 12 заполнено песчаной засыпкой 2. При смещении строительной системы, из-за ветрового или динамического силового воздействия на нее, будет смещаться и железобетонный бункер 12, стенки которого одновременно с этим станут перемещать засыпку 2. В результате фрикционного взаимодействия произойдет диссипация энергии и, как следствие, уменьшение силового воздействия на объект. Контролируя параметры бункера: его толщину, величину светового зазора, площадь бункера и параметры фрикционной засыпки, можно заранее, конструктивно обеспечить необходимые по техническим условиям параметры фрикционного трения. [11, 14]

**В целом, если исключить необходимость строить огромные каменные фундаментные платформы, то системы сейсмоизоляции на базе песчаных и глинистых подушек конструктивно просты, надежны и экономичны. Вследствие чего, заслуживают внимания, дальнейшей разработки и дополнительных исследований.**

**Область рационального использования систем на базе песчаных и глинистых подушек - это сейсмоизоляция мостов и высотных строительных объектов с большой боковой площадью ветрового взаимодействия (или с большой «парусностью») и малой площадью опирания.**

Чем больше парусность объекта, тем больше будет и сила горизонтального смещения. При большой податливости, например, как у более эффективных систем с малым трением качения и скольжения, потребуются специальные конструктивные мероприятия по обеспечению общей устойчивости строительного объекта и мероприятия по стабилизации строительной системы от ветровых и других горизонтальных динамических воздействий. Что ведет к дополнительным материальным затратам, которые негативно скажутся на эффективности сейсмоизоляции. Для песчаных и глинистых подушек, из-за их больших значений коэффициента трения ( $k_{\text{сколь.}}=0.5\div 0.6$  и  $k_{\text{сколь.}}=0.45\div 0.65$ ) стабилизирующие конструктивные мероприятия не нужны или потребуются в меньшем объеме. Понятно, что при этом на сейсмоизолируемую часть строительной системы будет передаваться и большая часть сейсмического воздействия, которое потребует нейтрализовать или компенсировать соответствующими конструктивными мероприятиями. Однако так как трение подбирается исходя из ветрового воздействия, то эти мероприятия уже произведены при расчете строительного объекта на ветровое воздействие... [15].

### 1.3.2.2. Демпферы сухого трения на базе сухих стыков

По своей технической сути сейсмозащита на базе «сухого стыка» похожа на активную сейсмозащиту на базе песчаных или глинистых «подушек». Отличие систем между собой заключается в том, что при «сухом стыке» эффективность фрикционного взаимодействия конструктивных элементов строительного объекта обеспечивается за счет узловой податливости (смещения) динамической системы (Рис. 1.10, в). При этом эффективность работы системы тем выше, чем больше узловая податливость; с другой стороны – чем выше узловая податливость, тем меньше общая устойчивость строительной системы. Вообще-то, это взаимоисключающие друг друга условия, удовлетворительное решение которых возможно только при условии одновременного использования высокой культуры проектирования, строительства и эксплуатации строительного объекта. Причем данный компромисс будет осуществляться за счет снижения общей надежности строительной системы: даже незначительные конструктивные отклонения в строительной системе от отклонений, предусмотренных проектом, могут оказаться для системы разрушительными. Поэтому сейсмозащита на базе «сухого стыка» не может быть предложена к широкому, массовому использованию в строительной практике. [1-7]

Рассмотрение других технических особенностей и возможностей сейсмозащиты на базе «сухого стыка» начнем с технического решения по а.с. СССР № 554387 (Рис. 1.10, а). Здесь многоэтажное сейсмостойкое здание состоит из пространственно-жесткой конструкции верхних этажей, опертых на гибкую (подвижную) конструкцию нижнего этажа и состоящую из строительных блоков 1 высотой на этаж, и соединенных между собой ступенчатыми шпонками 3, выполненных из вязкопластического материала.

В частности, авторами идеи в качестве вязкопластического материала шпонок, предлагается использовать асфальтобетон. При этом предполагается, что восстановление шпонок 3, в случае их разрушения, будет происходить самопроизвольно, под воздействием собственного веса и пластичности асфальтобетонной композиции.

Кроме этого, с целью восстановления несущей способности ступенчатых соединительных шпонок 3, предлагается использовать продольную арматуру 4 в качестве электронагревательных элементов для разогрева асфальтобетонного заполнения.

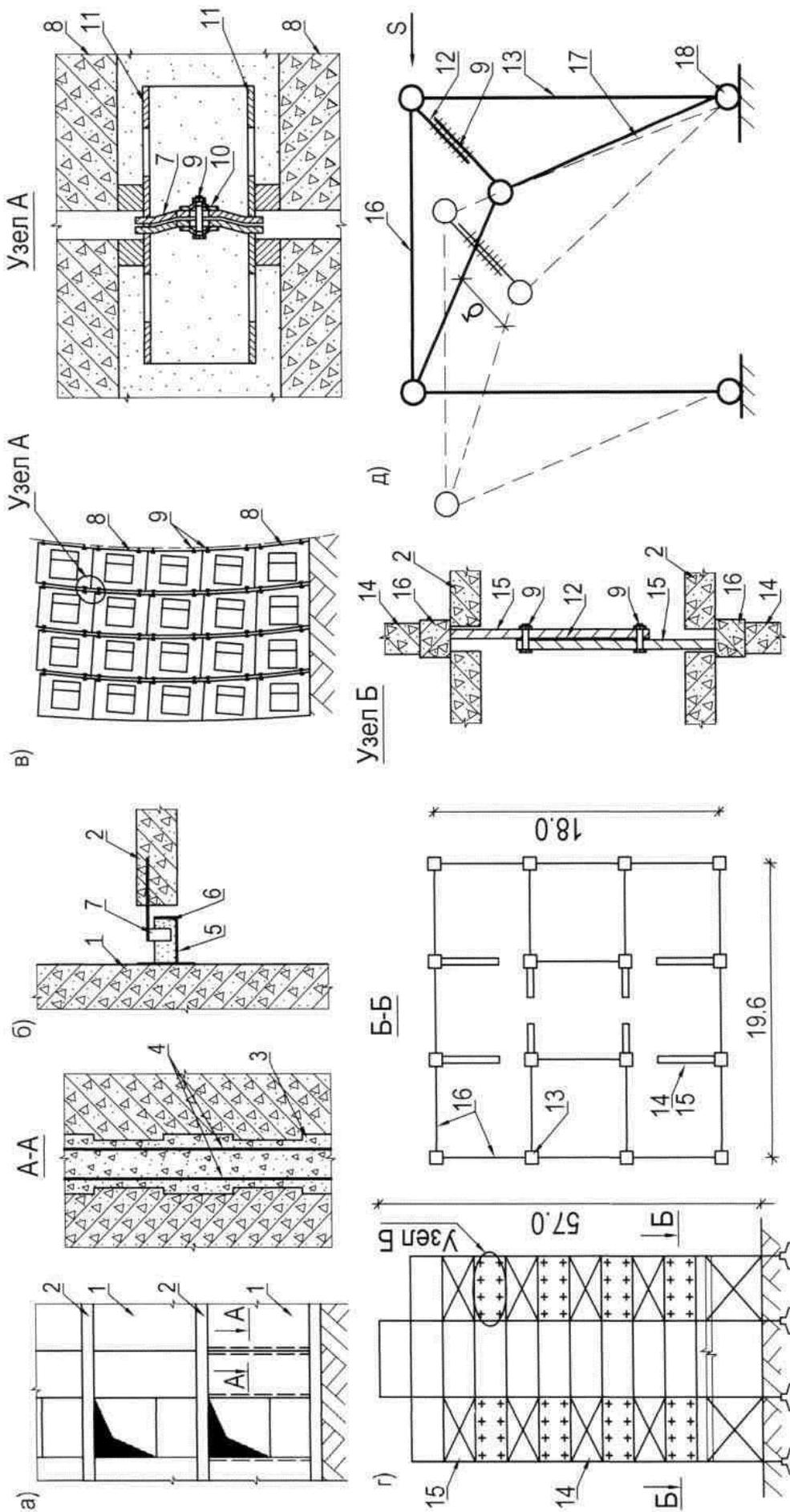
Работает сейсмозащита следующим образом: до тех пор, пока инерционные силы, слабо проявляются и, соответственно, перерезывающие усилия не превышают расчетных, вязкопластические шпонки 3 не разрушаются, строительный объект работает как единое целое. Однако по мере роста параметров силового воздействия, приходящегося на вязкопластические шпонки, в них возрастают усилия, что приводит к деформации шпонки, а значит, в определенной мере, это приводит к амортизации и гашению сейсмического воздействия. При достижении заданного уровня амплитуд колебаний здания и соответственно перерезывающих усилий вязкопластические шпонки 3 разрушаются. За счет этого строительные блоки 1 вместо совместной работы в составе монолитных стен, включаются в самостоятельную работу, в результате чего снижается жесткость нижнего этажа, изменяется период собственных колебаний объекта, и опасность нарастания резонансных явлений уменьшается. И, наконец, благодаря фрикционному взаимодействию конструктивных элементов строительного объекта, существенно снижается силовое сейсмическое воздействие на строительный объект.

Судя из представленного конструктивного описания сейсмозащиты, она очень похожа на активную сейсмозащиту на базе «песчаной подушки» по а.с. СССР № 525780. Основное отличие систем между собой заключается в том, что, в нашем случае, фрикционное взаимодействие переведено из горизонтальной плоскости в вертикальную плоскость. В результате чего, силы

гравитации из пассивного состояния переводятся в активное состояние взаимодействия с фрикционными элементами. Со временем, учитывая большую пластичность битума - связующей основы асфальта и действия сил гравитации, битум будет «выплывать» через трещины и «стекать» вниз шва. В результате чего, в процессе эксплуатации будет иметь место произвольное, неконтролируемое изменение проектных фрикционных показателей параметров фрикционной пары. Что объективно нежелательно, тем более, когда этих негативных проявлений не сложно избежать, стоит лишь заменить вязкопластическое заполнение шва, например, на фрикционное взаимодействие твердых пар, изготовленных из бетонных, металлических или полимерных материалов и соединенных посредством болтовых соединений. Хотя, в целом, и это не решает проблемы.

Следует особо выделить, что, из-за явлений температурного сжатия и растяжения строительного материала, на поведение каркасного заполнения, панелей и швов между ними существенное влияние оказывает температурный перепад, благодаря которому в вертикальных стыках непрерывно протекают обратимые деформации, заставляющие их то раскрываться, то уплотняться. Для сейсмически активных районов стран бывшего СССР, особенно большое значение, имеет температурный перепад зимой, когда разница между температурой воздуха снаружи и внутри помещений может достигать 40-60<sup>0</sup>. В этих условиях преобладающей формой деформации стенового заполнения и панелей являются прогиб вовнутрь помещений, средняя часть которого прижимается к перекрытию, а концы отходят от него, раскрывая стык наружу. В результате этого по верхней грани заполнения или панели возникают сдвигающие усилия, тем больше, чем больше модуль упругости заполнения или бетона панели [8].

Из-за малой устойчивости строительной системы, строительный объект будет реагировать не только на сейсмические воздействия, ради которых рассматриваемая сейсмозащита, в общем-то, и организуется, но и на ветровые, и другие паразитные динамические воздействия, которые в реальной жизни наблюдаются значительно чаще (ежемесячно, еженедельно, а в определенных условиях, например, из-за движения транспорта, и ежедневно). В результате чего, стыки стеновых панелей будут расходиться в стороны, а стеновое заполнение каркаса растрескаться и выпадать из плоскости каркаса. Что, естественно, ведет к дискомфорту людей, связанного с негативным влиянием внешних атмосферных условий, через получаемые и образуемые при этом в стенах трещины и проемы, на микроклимат внутренних помещений строительного объекта. Для устранения отмеченных недостатков при эксплуатации строительного объекта придется постоянно ремонтировать его стены. Фактически строение будет находиться в условиях постоянного ремонта. [7-9]



**Рис. 1.10. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе "сухого" стыка:**

- а) по а.с. СССР № 5543383 вариант со ступенчатой шпонкой; б) чашеобразный, конструкции Минпромстроя Армянской ССР; в) в объемно-блочном здании, конструкции ЦНИИЭП лечебно-курортных зданий; д) вариант по а.с. СССР №735723 (все М. кл. E04 b1/24 и h9/02); конструкция ТбилЗНИЭП; 1 - блоки стены, 2 - перекрытие, 3 - вязко-пластические шпонки, 4 - продольная арматура, 5 - металлическая "чаша", 6 - песчаная засыпка, 7 - опорный соединительный стержень (пластина), 8 - стойки, 9 - болт-секция, 9 - болтовое соединение, 10 - пружинные шайбы, 11 - анкерные трубки, 12 - фрикционный элемент, 13 - стойки, 14 - стационарная и 15 - фрикционная диафрагма, 16 - продольные и поперечные ригеля, 17 - наклонные элементы связи, 18 - шарнир.

Кроме этого, и само динамическое раскачивание строительного объекта – это тоже дискомфорт, с которым мало кто согласится постоянно мириться. Таким образом, надежность строительного объекта входит в противоречие с потребностью людей в качественном, уютном (удобном) жилье или месте работы. При этом следует особо отметить, что обеспечиваемая объекту сейсмическая защита в процессе эксплуатации объекта не сможет «покрыть» всех экономических издержек, связанных с его постоянными ремонтами и обследованиями (инженерным мониторингом).

В качестве следующего примера рассмотрим вариант сейсмозащиты в виде чашеобразного «песчаного» демпфера (Рис. 1.10, б), предложенного в середине 80 годов 20 столетия специалистами Минпромстроя Армянской ССР. [5]

Конструктивно «песчаный» демпфер (Рис. 1.10, б) представляет собой металлическую «чашу» 5, заполненную песком 6 (засыпка), в которую введен вертикальный опорный стержень 7, прочно соединенный с железобетонной плитой перекрытия 2. Устанавливается демпфер в технические зазоры между плитами перекрытия и стволами лестнично-лифтовой клетки.

При относительной подвижности плиты перекрытия 2 по отношению к лестнично-лифтовому узлу (стенам) 1, вызванному сейсмическим воздействием, за счет фрикционного проскальзывания опорного стержня 7 по песочной засыпке 6 происходит рассеивание сейсмической энергии в окружающую среду, тем самым, одновременно частично амортизируется и частично гасится сейсмическое воздействие на строительный объект. [1-2]

Несомненно, под действием сейсмического воздействия, в рамках горизонтальных параметров (габаритов) чаши, стены лестнично-лифтового узла и плиты перекрытия могут смещаться друг относительно друга. Однако не совсем понятно, если учесть, что конструктивно сейсмозащита самостоятельно не способна вернуться в исходное положение, как после землетрясения и после того как стены и плиты перекрытия разойдутся в стороны, какими средствами строительная система будет возвращаться в свое исходное положение? Это весьма существенный момент, без решения которого сейсмозащита не может быть задействована в строительной практике.

Затем, конструктивно сложно осуществить надежную антикоррозийную защиту и устранить износ опорных стержня «песчаного» демпфера при его постоянных фрикционных подвижках. А значит, для обеспечения надежной работы строительной системы во время всего ее срока эксплуатации, обязательно необходим контроль за состоянием конструктивных элементов строительной системы и «песчаных» демпферов. В свою очередь, контроль предусматривает периодический доступ ко всем элементам системы, специальное оборудование и штат специалистов. С одной стороны это дорого, с другой – это практически сложно осуществить, так как объект находится в эксплуатации.

Как видно из проведенного анализа систем, использование в конструкции «сухого стыка» в качестве фрикционных элементов вязкопластического материала и засыпок является бесперспективным.

Рассмотрим возможности изготовления «сухого стыка» на базе плотных, несыпучих фрикционных соединений, например, выполненных из бетонных, металлических полимерных диафрагм или объемных железобетонных блок-секций, соединенных между собой болтовыми соединениями.

Для начала рассмотрим вариант системы «сухого стыка», разработанный в ЦНИИЭП лечебно-курортных зданий, в котором строительный объект представляет собой ряд упругих ветвей, каждая из которых выполняется из ряда вертикального установленных один на другой

блок-секций 8 (Рис. 1.10, в), жестко соединенных между собой в горизонтальных стыках через болтовые соединения 9. При этом величина нормальных усилий в болтовых соединениях задается по расчету, исходя из условий либо максимального снижения сейсмической реакции, либо наибольшего поглощения энергии в системе.

Каждое фрикционное соединение, в соответствии с идеей, состоит из двух элементов, представляющих собой стальные пластинки 7, изогнутые по определенному профилю и приваренные к анкерующим трубкам 11. Оба соединения соединяются между собой через пружинные шайбы 10 болтом 9 без натяжения его.

Указанное соединение в собранном виде устанавливается в специально предусмотренные в стенах блоков 8 отверстия, после чего производится зачеканка отверстий высокопрочным раствором. Количество таких соединений в вертикальных стыках блок-секций 8 назначается по расчету.

В начальной стадии отклонения строительной системы от положения равновесия пластинки 7 каждого фрикционного устройства свободно (практически без трения) перемещаются друг относительно друга вдоль вертикальных швов. Деформации здания на этом этапе обусловлены суммарной жесткостью отдельных ветвей. При достижении нагрузки некоторого значения, при котором относительный сдвиг крайних волокон смежных ветвей в вертикальных швах превышает величину свободного хода, во фрикционных связях возникает трение, сила которого повышается по мере увеличения деформации здания. Соответственно повышается реакция системы. В предельном случае ветви в здании работают, как единая монолитная система. Отмечаемая конструкция «сухого стыка» отличается плавностью изменения параметров реакции в условиях сейсмических воздействий. [9]

Конструктивные особенности блок-секционного изготовления зданий, в некоторой мере уменьшают отрицательные последствия разрушения стыков, однако не устраняет их полностью. К сожалению, активная система работает на восприятие сейсмического импульса только в вертикальной плоскости. А значит, понадобятся еще и технические средства по устранению других составляющих сейсмического воздействия. Что отрицательно скажется на трудоемкости и стоимости сейсмозащиты.

Не устраняет сейсмозащита и, связанной с повышенной узловой податливостью, нежелательной динамической раскачки строительного объекта.

И, наконец, из-за архитектурной невыразительности объемно-блочных зданий, объемно-блочные дома составляют очень небольшой удельный вес в общем объеме строительства. Более перспективным, учитывая масштабы применения в строительной практике каркасных схем, является использование каркасных зданий с фрикционными демпферами.

В качестве конкретного примера такого конструктивного решения остановимся на сейсмозащите, разработанной ТбилЗНИИЭП для 16-этажного каркасно-панельного жилого здания на базе унифицированного каркаса серии ИИС-04. [11]

Здание башенного типа с размерами в плане 19.6x18 м. Высота здания 57.0, высота этажа – 3.0 м. Запроектировано для строительства в г. Тбилиси. Конструктивная схема здания – рамно-связевой каркас, образованный установленными в каждом направлении здания четырьмя трехпролетными рамами с колоннами сечением 40x40 см. Два ствола жесткости П-образной формы в плане расположены симметрично относительно центра здания. Толщина стен ствола жесткости равна 16 см. Некоторые стены стволов ослаблены дверными проемами. При этом в качестве сейсмозащиты используются фрикционные стены-диафрагмы (Рис. 1.10, г). Из-за конструктивных особенностей унифицированного каркаса серии ИИС-04, фрикционные стены-диафрагмы 15

установлены только в уровне 9, 11, 13, и 15-го этажа; в то время как на 10, 12, 14, 16-м этажах – установлены стационарные диафрагмы 14, в виде балок-стенок, нагруженных по нижней и верхней кромкам. Фрикционные стены-диафрагмы 15 жестко прикреплены к стационарным диафрагмам 14 выше и ниже лежащих этажей. [11]

Особенность данной конструкции «сухого» стыка заключается в том, что поэтажные фрикционные стены-диафрагмы 15 выполняются из двух панелей, одна из которых крепится к ригелю 16 верхнего этажа, а другая – ригелю 16 нижнего этажа (Рис. 1.10, г). При колебании здания панели диафрагм 15 перемещаются относительно друг друга с отставанием, равным величине перекоса этажа, создавая условия для возникновения сил трения. Между спаренными панелями проложен фрикционный элемент 12. Образованный таким образом трехслойный пакет обжимается болтами 9, число которых назначается по расчету. [11]

Как следует из описания сейсмозащиты, в отличие от объемно-блочного решения, в ней нет упругих ветвей, так как податливость строительной системы обеспечивается пространственным, унифицированным каркасом серии ИИС-04. Причем зона податливости системы ограничена уровнем 9, 11, 13, и 15-го этажа, что существенно снижает негативные последствия, связанные с раскрытием панельных стыков и раскачкой самого строительного объекта. Кроме этого, негативные последствия можно еще больше уменьшить, стоит лишь податливые этажи совместить с техническими этажами, в которых требования комфортных условий ниже. При этом, для ограничения теплопотерь, вызванных раскрытием панельных стыков, можно использовать гибкие теплоизолирующие материалы, например, войлок. Ну а для того, чтобы раскрытие панельных стыков не вносило эстетической дисгармонии в архитектурный облик объекта, их можно заранее соответствующим образом архитектурно оформить. Еще лучше будет, если зона податливости придется на подвальные помещения, так как в этом случае, грунт скроет негатив зрительного восприятия, связанный раскрытием панельных стыков.

И, наконец, эффективность фрикционной системы существенно повысится, если вместо ограниченной узловой податливости использовать, например, кинематические фундаменты.

К сожалению, учитывая то, что сейсмические воздействия являются пространственным, а работа активной сейсмозащиты рассчитана только на восприятие прямолинейных возвратно-поступательных динамических движений строительного объекта, реальная эффективность и надежность сейсмозащиты будет значительно ниже запланированной. Кроме этого, после окончания землетрясения, понадобится еще ремонт конструктивных элементов системы.

В завершении рассмотрим возможности сейсмозащиты на базе «сухого стыка» при наклонной установке демпфирующего устройства, например, как это предлагается по а.с. СССР

№ 735723. Здесь, по замыслу авторов идеи, демпфирующее устройство представляет собой шарнирную раму, состоящую из вертикальных 13 и наклонных стоек 16, наклонных шарнирных связей 17, диагонально соединяющих раму и под углом шарнирно введенного фрикционного элемента 12, в виде парных металлических стержней с овальными отверстиями, соединенных на высокопрочных болтах 9 (Рис. 1.10, д).

При этом упругая работа и свойства фрикционного элемента 12 обеспечиваются силой «сухого» трения и соответствующей затяжки высокопрочных болтов 9. Во время сейсмического воздействия, при превышении возникающих усилий сил трения, во фрикционном элементе 12 по плоскостям соприкосновения происходит сдвиг. Величина перемещений  $\delta$  при сдвиге определяется предварительным расчетом из условия обеспечения минимально допустимой жесткости системы.

В период колебаний часть энергии сообщенной системе, расходуется на преодоление сил

трения, т.е. поглощается элементом 12, а оставшаяся часть передается на весь каркас здания. Одновременно с этим, наклонное расположение фрикционного узла 12 позволяет воспринимать не только вертикальные, но и частично горизонтальные динамические воздействия. Однако из-за большой подвижности строительной системы в месте установки демпфера, связанной с конструктивными особенностями рассматриваемого демпфера «сухого трения», нужны специальные строительные элементы и системы, которые бы обеспечивали восприятие нагрузки от собственного веса строительного объекта. Кроме этого, при сейсмическом воздействии демпфер «сухого» трения преимущественно работает в плоскости своей установки, что не соответствует характеру сейсмического воздействия. Правда, отчасти гибкость и шарнирное соединение элементов демпфирующего устройства компенсируют отмечаемый недостаток, но не устраняют его полностью.

Преимущество рассматриваемого технического решения еще и в том, что наклонные элементы связи, за счет изменения их деформативности и жесткости с помощью фрикционного элемента, позволяют регулировать динамические характеристики системы и изменять энергоемкость системы, снижать сейсмические нагрузки а, значит, увеличить сейсмостойкость здания или сооружения.

Кроме этого, демпфер можно устанавливать в уровне определенных этажей и, тем самым, не вводить дополнительные изменения в сам строительный объект. Это положительно скажется на устойчивости, надежности и себестоимости строительной системы.

### **1.3.2.3. Пластические шарниры**

Принцип работы «пластических шарниров» прост и основан на явлении пластичности и гистерезиса в металле, т.е. на особенности твердых тел необратимо изменять свои размеры и форму под действием механических нагрузок и отставании изменения деформации тела от механического напряжения. Отсюда - суть идеи сводится к конструктивному обеспечению специальных зон, в которых явление пластичности и гистерезиса могли бы проявиться с максимальной эффективностью. В практике строительства эти специальные зоны получили название «пластических шарниров». [1-4]

С одной стороны, вполне закономерно, что из-за сильных сейсмических воздействий «пластические шарниры» будут проявляться в наиболее загруженных зонах несущих элементов (Рис. 1.11, а). Естественно, что благодаря развитию пластических деформаций в элементах каркаса, будет иметь место перераспределение нагрузки по элементам строительного объекта и повышение подвижности каркаса. Данное обстоятельство подтверждается характером разрушений несущих конструкций строительных объектов наблюдаемых после сильных землетрясений. Одновременно с этим, из-за явления гистерезиса сейсмическое воздействие преобразуется в тепловое и в виде тепла рассеивается в окружающее пространство, что ведет к быстрому затуханию колебаний сейсмической нагрузки. В целом, все это во многих случаях позволяет строительному объекту успешно противостоять сейсмическому воздействию. К тому следует добавить еще конструктивную простоту и дешевизну изготовления «пластических шарниров, что делает их привлекательными для строителей. [1-4]

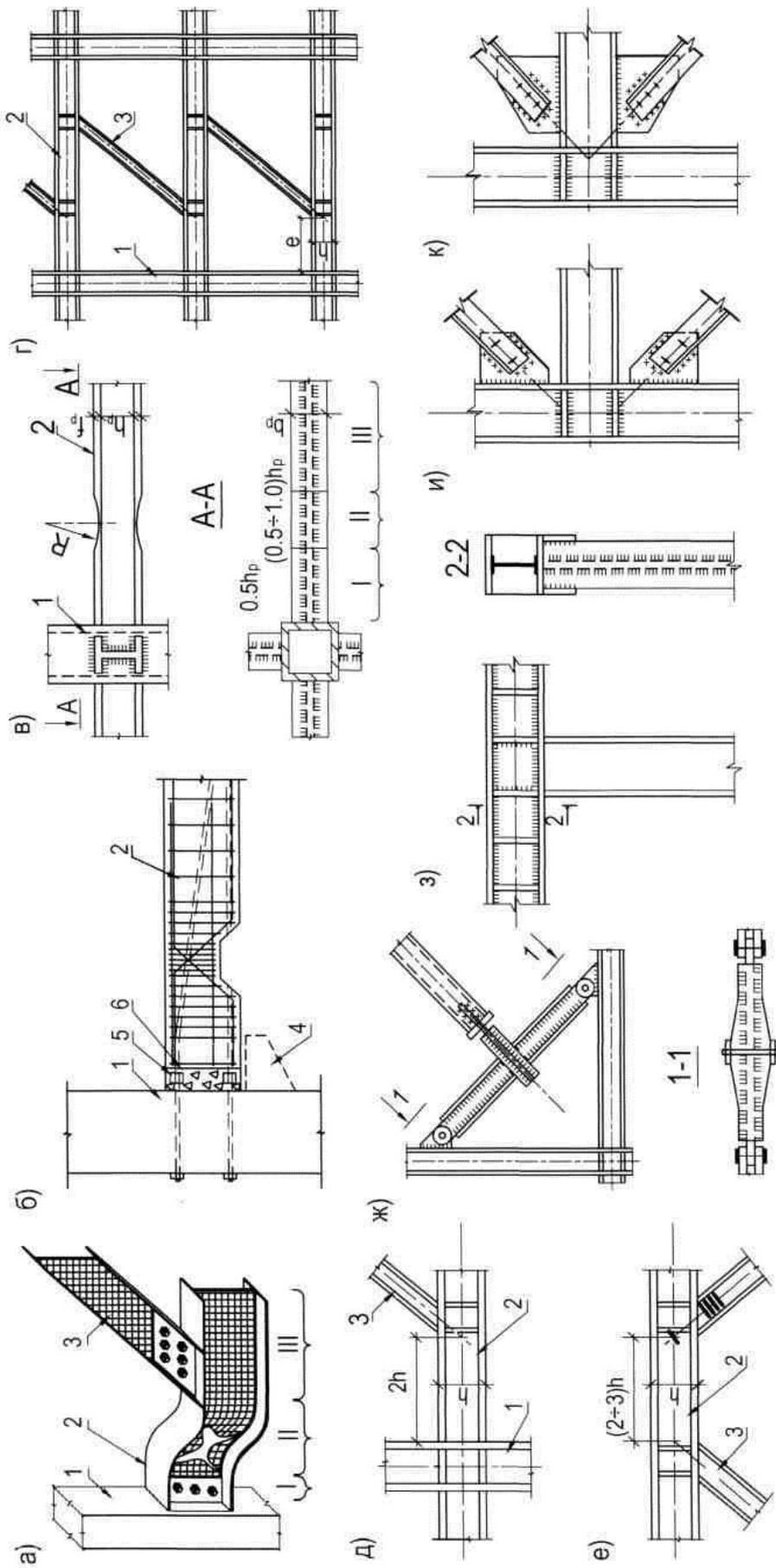
С другой стороны, из-за особенностей сейсмического воздействия и пространственной работы строительного объекта, появление «пластических шарниров», в общем-то, носит самопроизвольный, неуправляемый характер. В результате чего, отмечаемая неопределенность выступает естественным и существенным ограничением по широкому применению в строительной практике данного типа активных систем сейсмозащиты.

Так как во время сильных землетрясений зоны пластичности шарниров деформируются и даже нередко вообще разрушаются, то после землетрясения их приходится восстанавливать. Однако осуществить это сразу же по окончании землетрясения просто невозможно, так как техника и специалисты в это время заняты спасением пострадавших, приведением в порядок сетей и коммуникаций общего назначения. В результате - строительный объект некоторое время представляется ветровому и динамическому воздействию при неблагоприятных условиях работы строительной системы. При этом если во время землетрясения повышенная подвижность положительно сказывается на сейсмостойкости, то по окончании землетрясения, эта же подвижность приобретает отрицательные качества: дискомфорт (особенно на верхних этажах) из-за «раскачки» строения и нежелательные трещины в стенах и конструкциях, разрывы инженерных сетей и коммуникаций.

И наконец, повышенная подвижность негативно сказывается и на общей устойчивости строительного объекта – при определенных условиях из-за податливости строительного объекта она может привести к частичному или полному обрушению строения. Что идет в разрез с исходной задачей обеспечить сохранность строительного объекта при всех неблагоприятных условиях на весь срок эксплуатации объекта. И здесь положительное решение проблемы возможно только при высокой культуре строительства на всех этапах строительства: этапе проектирования, возведения и эксплуатации строительного объекта. Следует особо подчеркнуть: что для обеспечения безопасности строения важны все строительные этапы и операции. Поэтому организациям, которые не способны обеспечить высокий уровень строительного производства, пока следует воздержаться от использования данной новации. Пройдет время, улучшится общий уровень культуры производства, накопится и обобщится опыт экспериментального строительства данных объектов и приводимое ограничение будет либо трансформировано в другие требования, либо вообще отменено.

Так как в раме пластические шарниры конструктивно можно организовать, или установить только в раскосах, ригелях (балках), колоннах и диафрагмах, то остановимся на особенностях устройства пластических шарниров в данных элементах.

Учитывая большую жесткость диафрагм жесткости, возможность их работы как мембрана из плоскости каркаса, целенаправленно организовать конструктивными средствами пластические шарниры в нужных местах и в конкретный момент времени дело довольно затруднительное. Намного проще и эффективнее запрограммировать в нужный момент общее разрушение диафрагмы, т.е. использовать вариант решения проблемы в практике сейсмостойкого строительства известный как «выключающиеся связи». При этом, в обычных условиях при восприятии динамических нагрузок в упругой стадии, диафрагмы жесткости обеспечивают строительному объекту необходимую ему жесткость, а при программируемом выходе из строя в результате сильных сейсмических воздействий – дополнительную подвижность каркаса и тем самым эффективную работу объекту в процессе всей его эксплуатации. Выведенные из строя диафрагмы после землетрясения восстанавливаются... [1, 5-6]



**Рис. 1.11. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе "пластических шарниров":**

- а) пример разрушения каркаса в зоне диссипации и или пластического шарнира";  
 I - зона стыка, II - зона пластического шарнира, III - зона преднапряжения ригеля; е - эксцентриситет;  
 схема организации пластического шарнира": б) в железобетонном и в) металлическом ригеле;  
 г) каркас с эксцентрическими связями; рамно-связевая система (д) с не центрированными и е) с центрированными  
 элементами связей; ж) угловой, балочный энергопоглотитель, з) Т-образный; крепление связи: и) к колонне, к) к ригелю;  
 1 - колонна, 2 - горизонтальная балка (ригель), 3 - связевый раскос, 4 - временная консоль, 5 - стяжная муфта, 6 - монолитный бетон.

Не подходит для нас и вариант устройства пластических шарниров в колоннах. Хотя технически это несложно обеспечить. Другое дело, что колонны, довольно нагруженные и слишком важные элементы каркаса, а современный уровень наших знаний о работе строительного объекта в условиях сильных землетрясений и нелинейной работы пластических узлов не позволяет гарантированно обеспечить его надежную работу. Поэтому и данное направление следует признать бесперспективным. [1-3]

Остаются ригеля и раскосы. Здесь, заранее программируемый выход отдельных элементов, при организации в них пластических шарниров, компенсируется соответствующими комплексными мероприятиями по обеспечению общей устойчивости строительной системе.

Отметим, что исходя из критериев прочности, устойчивости и пластичности, основные принципы конструирования включают в себя следующие мероприятия по надежности:

1. Элементы, несущая способность которых определяется устойчивостью, в случаях, когда их разрушение может привести к обрушению сооружения в целом, должно быть защищены от возможных перегрузок при землетрясениях.

2. Каркасы, работающие в упругопластической стадии на знакопеременные и сейсмические нагрузки, должны иметь стволы, конструкции которых работают в упругой стадии и которые способствуют возвращению объекта к его первоначальному, проектному положению при динамических колебаниях системы.

3. Развитие пластических деформаций допускается в элементах работающих только на изгиб, сдвиг и растяжение. В центрально и внецентренно сжатых элементах развитие упругопластических деформаций должно быть исключено.

4. Зоны развития пластических деформаций в элементах должны быть вынесены за пределы сварных или болтовых соединений.

5. Элементы каркасов в зоне упругопластической работы металла должны иметь плавные конструктивные формы, чтобы в них не возникали значительные концентрации напряжений.

6. Исключается возможность потери местной устойчивости стенок и поясов металлических балок. В пластическую работу включается максимальный объем металла [1-3].

В качестве наиболее простых вариантов организации пластических шарниров в ригелях используются способы связанные либо с уменьшением сечения ригеля в месте образования шарнира, либо, наоборот, с дополнительным увеличением сечения. При этом в качестве конкретных средств увеличения сечения ригеля выступают связевые раскосы.

Вариант новации, связанный с уменьшением бетонного сечения ригеля с одновременным арматурным усилением зоны организации пластического шарнира благодаря индустриальным методам производства достигается сравнительно недорогими методами. Однако из-за пространственной работы объекта, технологических и монтажных допусков, максимальных изгибающих моментов и поперечных сил, возникающих при сейсмических нагрузках в зонах устройства стыков элементов, появление «пластических шарниров» носит самопроизвольный, неуправляемый характер. К сожалению, из-за неадекватности между собой динамических нагрузок и реальных сейсмических воздействий, даже предварительные испытания поведения стыков при циклических нагрузках не обеспечивают нам полной гарантии отражения реальной работы объекта. Кроме того, при монтаже конструкций не удастся обеспечить такое высокое качество стыков, как в заводских условиях. В соответствии с этим зоны диссипации энергии должны быть вынесены за пределы стыков. Пример соединения колонны с ригелем приведен (Рис. 1.11, б). При проектировании этого соединения предусматривалось, что пластический шарнир образуется в сечении ригеля, удаленном от стыка. [7]

В качестве варианта организации пластических шарниров в ригелях с дополнительным увеличением сечения рассмотрим рамный каркас с эксцентрическими связями. Для этого связевые раскосы соединяют с ригелями на некотором расстоянии от узлов рам или со значительным эксцентриситетом (Рис. 1.11, г-е).

Наличие эксцентриситета между узлами соединений диагональных связей с балками (ригелями) перекрытий и этих балок с колоннами приводит к тому, что пластические деформации, возникающие в каркасе при сейсмическом воздействии, концентрируются в основном на небольших участках горизонтальных балок между колоннами и местами присоединения связей, что предотвращает разрушение основных элементов каркаса. [4, 8]

Теоретические и экспериментальные исследования рамных каркасов с эксцентрическими связями, в частности, проведенные в университете Беркли (США), показали, что эти конструкции обладают близкими к оптимальному сочетанию несущей способности, жесткости и пластичности, которое не может быть достигнуто при использовании обычных диагональных связей, центрированных на узлы пересечения поперечных ригелей и колонн каркаса [4].

Испытания узлов так же выявили, что пластический шарнир в ригеле может образовываться на участке, длина которого примерно равна высоте его сечения. При этом расстояние от наружной грани колонны до пересечения связевого раскоса с ригелем должно быть не менее чем две высоты его сечения (Рис. 1.11, д), а расстояние между ближайшими раскосами, пересекающими ригель в пролете (Рис. 1.11, е), должно в два-три раза превышать высоту его сечения. А эксперименты на моделях при этом подтвердили, что все разрушения каркасов непосредственно концентрировались в зоне «пластических шарниров» и не затрагивали основных несущих конструкций. [8].

Применение новой конструктивной схемы, по мнению авторов идеи, позволяет на 10% снизить массу металлоконструкций по сравнению с обычными каркасами. Рамные каркасы зданий с эксцентрическими связями наряду с высокой пластичностью обладают также достаточной жесткостью, что снижает объем второстепенных и мелких повреждений зданий при землетрясении. Кроме этого, применение каркаса с эксцентрическими связями во многих случаях оказывается более целесообразным, чем установка дополнительных элементов жесткости типа стен-диафрагм, стволы жесткости и т.п. [8]

Высокую эффективность энергопоглощения связевых раскосов или систем балочного типа (Рис. 1.11, ж-и) отмечают и специалисты Казахского отделения ЦНИИпроектстальконструкция [2-3].

Следует заметить, что в состав систем балочного типа непосредственно входят расцентрированные, балочные, Т-образные и рамные, устанавливаемые вместо связей по колоннам. Для повышения энергоемкости энергопоглотителей стенка балочного элемента делается гофрированной, а пояса – с зонами равного сопротивления. Установка балочных энергопоглотителей вместо обычных связей повышает деформативность каркаса, благодаря чему в зданиях небольшой высоты снижается горизонтальная сейсмическая нагрузка. Недостатком данных энергопоглотителей является относительно высокая металлоемкость балочного элемента 1. [1]

При работе материала энергопоглотителей за пределом упругости во время землетрясений возникают значительные деформации каркаса, что затрудняет конструктивные решения узловых соединений связей, из-за изменения прямого угла между колонной и ригелем. Это при обычных конструктивных решениях приводит к разрушению узловых фасонок и сварных соединений. Для предотвращения этого рекомендуется фасонки связей крепить только к колонне или ригелю с небольшой расцентровкой в узлах (Рис. 1.11, з, и). [2-3]

Из большого многообразия энергопоглощающих устройств, предложенных для многоэтажных связевых каркасов, в практике сейсмостойкого строительства наиболее реально использовать упругопластические, в которых поглощение энергии колебаний зданий происходит за счет пластических деформаций металла (Рис. 1.11, з, и). Такие энергопоглотители отличаются простотой конструктивных решений, надежностью, работоспособностью и высоким удельным энергопоглощающим эффектом. Использование пластических резервов работы стали для поглощения энергии сейсмических воздействий позволяет без больших дополнительных затрат надежно защищать каркас здания от разрушений. Вышедшие из строя энергопоглотители легко заменяются после землетрясения новыми. [3]

Расчет рамно-связевых систем с элементами, в которых организовываются пластические шарниры, выполняется в такой последовательности:

По известным нормам рассчитываются продольные напряжения, изгибающие моменты и поперечные силы в элементах и определяются предварительные размеры сечений при вертикальных и сейсмических нагрузках. При этом учитываются дополнительные моменты в ригелях и колоннах, вызванные эксцентричным и центрированным расположением связевых раскосов.

В расчете принимается, что напряжения достигают предела текучести в ригелях раньше, чем в других элементах. В связи с этим размеры сечения связевых раскосов увеличиваются таким образом, чтобы они не потеряли устойчивость и работали упруго до образования пластического шарнира в ригеле, к которому они примыкают.

Заметим, чтобы продлить способность связевых раскосов поглощать энергию, некоторые руководства по проектированию рекомендуют увеличивать расчетные усилия в них на 25%. Считается, что это должно частично компенсировать недостаточную пластичность и энергоемкость рамной системы с центрированными элементами. При этом колонны рассчитываются таким образом, чтобы они не потеряли несущей способности после развития пластических деформаций по полному сечению ригелей. [8-11]

И, наконец, по аналогии с ригелями пластические шарниры могут быть организованы и непосредственно в связевых раскосах. Однако практические возможности эффективного использования у данного варианта новации при этом будут более ограниченными. Дело в том, что связевые раскосы это всего лишь вспомогательные элементы каркаса, конструкции, имеющие меньшую жесткость и прочность по сравнению с ригелями и колоннами, а значит и в меньшей степени или более локально скажется их влияние на распределение нагрузки и общей подвижности каркаса. Поэтому эффективное использование идеи возможно лишь при комплексном использовании подхода по диссипации сейсмической энергии в целом.

Итак, простота организации пластических шарниров, экономичность возможность обеспечения высокой диссипации сейсмической энергии в момент землетрясения, несомненно, представляют существенный практический интерес со стороны специалистов. Правда необходимость перевода работы отдельных элементов каркаса из зоны упругой стадии работы материала в зону его пластической работы в условиях сильных сейсмических воздействий вызывает вполне обоснованное настороженное и выжидательное отношение специалистов к самой идее, а тем более к ее широкой практической реализации. И это понятно, ведь личной ответственности за надежную работу строительного объекта, в случае реализации новшества, со специалистов никто не снимал. А здесь пока слишком много нового, неизвестного, что нужно понять и оценить, к чему, в общем-то, еще нужно привыкнуть.

#### 1.3.2.4. Элементы повышенной деформативности (энергопоглотители)

Энергопоглотители колебаний относятся к специальным устройствам эффективного рассеивания энергии сейсмического возбуждения за счет использования сил внутреннего трения. В основе идеи лежит возможность некоторых материалов поглощать значительное количество энергии посредством развития в материале конструкции неупругих или пластических деформаций. [1-3]

«Энергопоглотители» являются естественным продолжением развития идеи пластических шарниров. Если мы способны организовать в нужных местах строительной системы пластические шарниры, то почему бы нам не сделать это на базе специальной металлической конструкции, элемента или узла, с более высокими параметрами энергопоглощения. Отсюда и общее название отмечаемых систем энергопоглотители.

В целом - все энергопоглотители отличаются простотой конструктивных решений, надежностью и высокой энергопоглощающей способностью. По идее, использование пластических резервов работы стали для поглощения энергии сейсмических воздействий позволяет без больших дополнительных затрат надежно защищать каркас здания от разрушения. Вышедшие из строя энергопоглотители легко заменяются после землетрясения новыми. [1-4]

Элементы энергопоглотителей, работающих в пластической стадии, изготавливаются из пластической стали марок Вст3Гпс, Вст3пс, 09Г2, 14Г2, 15ХСНД. Конструктивные формы этих элементов должны отличаться плавностью, что позволяет избегать концентрации деформаций и повысить циклическую прочность и долговечность энергопоглотителей. [1, 3]

В зданиях рамного типа, имеющих большую гибкость в горизонтальном направлении, гасители располагаются в диагональных связях для уменьшения горизонтальных перемещений. Для высоких зданий гасители допускается располагать в нескольких нижних этажах. Если здание имеет жесткий ствол, то гасители можно монтировать в уровне перекрытий. Распространенным случаем является размещение гасителей между сооружением и основанием. Во всех случаях конструкцию гасителя и его параметры подбирают с учетом динамических характеристик строительного объекта. [4]

Условно по конструкции исполнения все имеющееся многообразие энергопоглощающих устройств, предложенных для многоэтажных связевых каркасов, подразделяется: на упругопластические, стержневые, рамочные и трубчатые энергопоглотители.

Наиболее простое конструктивное решение имеют упругопластические энергопоглотители, работающие на сдвиг и устанавливаемые в систему вертикальных связей по колоннам. При этом среди энергопоглотителей они обладают наиболее высокой удельной энергоемкостью и имеют большую жесткость, что важно для высоких зданий. Конструктивные формы сдвиговых энергопоглотителей очень разнообразны, некоторые из них приведены на Рис. 1.12, а-б.

Характерными представителями энергопоглотителей, работающих на изгиб являются стержневые энергопоглотители, выполняемые из круглых стержней или пластин (Рис. 1.12, в-г).

Для увеличения объема металла, работающего в пластической стадии, стержни имеют зоны равного сопротивления, образованные путем изменения их диаметра или ширины. Энергопоглотители такого типа устанавливаются в каркасе с жесткими диафрагмами и полураскосными связями. [1-3]

К сожалению, экспериментальные исследования [5] показали, что данное конструктивное решение оказалось практически неудачным. В частности, в образцах (Рис. 1.12, в), когда концы стержней свободно вставлялись в отверстия стальных пластин толщиной в 20 мм, вставленные концы стержней обминали отверстия пластин. В результате чего появились большие свободные

перемещения. А в образцах (Рис. 1.12, г), когда концы стержней, вставленных в раззенкованные отверстия пластин, заваривались по контуру, заварка концов приводила к их быстрому разрушению. Таким образом, стержневые энергопоглотители не могут быть рекомендованы к применению в строительной практике. Конструктивно «рамочные» и «кольцевые» (соответственно а.с. СССР № 562630 и № 754005 М. кл. Е 04 В 1,24 и Н 9/02) энергопоглотители представляют собой ячейку каркаса (Рис. 1.12, д), состоящую из металлических колонн 1, ригелей 2 и диагональных перекрестных связей 3, на пересечении которых непосредственно и размещен энергопоглотитель 4, выполненный в виде металлической рамки или кольца (Рис. 1.12, е-ж). Отсюда, в зависимости от формы энергопоглотителя, и его название. Назначение энергопоглотителя сводится к повышению надежности работы каркаса за счет развития в его элементах знакопеременных пластических деформаций.

Опять же лабораторные исследования показали [4-8], из-за высокого уровня концентрации напряжений, даже в наиболее надежных образцах рамочных энергопоглотителей, после первого цикла циклического нагружения в жестких угловых соединениях развиваются трещины. Что, в конечном счете, ведет к разрушению энергопоглотителя.

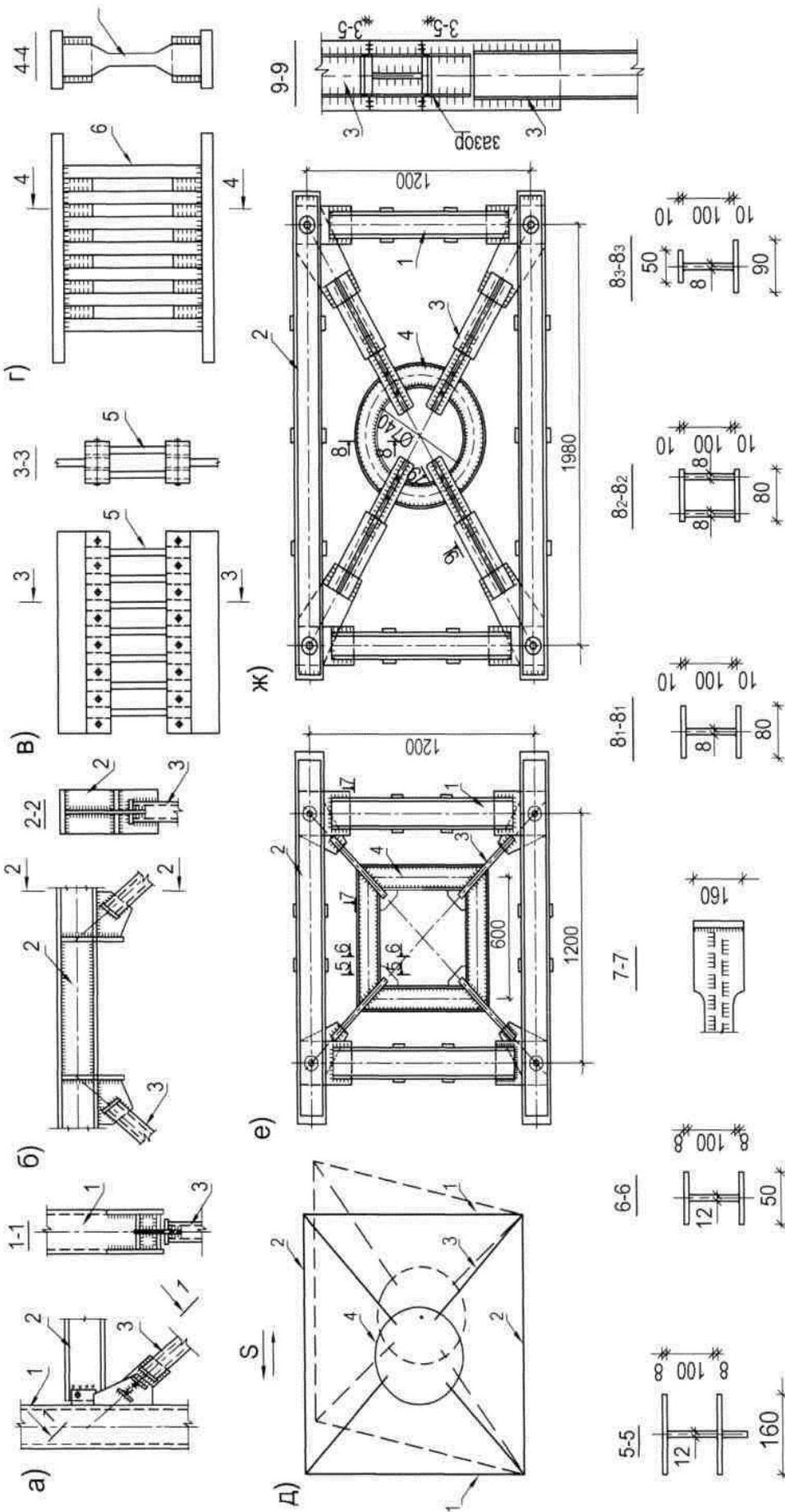
Более удачным конструктивным решением оказались кольцевые энергопоглотители. Что объясняется плавностью его конструктивных форм и значительным объемом материала, вовлеченного в пластическую работу. Энергоемкость кольцевого энергопоглотителя зависит от уровня неупругого деформирования и конструктивного решения поглотителя. С уменьшением уровня неупругого деформирования и увеличения массы энергопоглотителя энергоемкость и долговечность работы поглотителя возрастает.

Сечения основных несущих элементов 1, 2 и 3 (Рис. 1.12, ж) ячейки каркаса подбираются таким образом, чтобы в момент, когда в кольце 4 от повышенных сейсмических воздействий появятся пластические деформации, напряжения в элементах 1, 2 и 3 не превышали расчетных. При этом сечения элементов 3 подбираются таким образом, что одновременно работают элементы обоих направлений: как на сжатие, так и на растяжение.

При сейсмических колебаниях в здании по направлению диагональных связей 3 (Рис. 1.12, д) возникают усилия растяжения и сжатия, передающиеся на кольцо энергопоглотителя, в котором развиваются изгибающие моменты и пластические деформации.

При изменении направления знак усилия в связевых раскосах 3 изменится на противоположный. В кольце энергопоглотителя 4 величины изгибающих моментов сначала снижаются до нуля, после чего увеличиваются, изгибая кольцо в противоположном направлении. При этом остаточные деформации, возникшие в кольце 4 в предыдущем полуцикле, исчезают и развиваются деформации противоположного знака, напряжения в элементах 1, 2 и 3 не превышают расчетных, диагональные связи 3 сохраняют устойчивость при любых перегрузках и не получают остаточных удлинений.

Для повышения энергопоглощающей способности кольца его пояса делают разного сечения, что обеспечивает одновременное развитие в них пластических деформаций, а стенку выполняют гофрированной стали. Варьируя параметрами колец, можно обеспечить одновременную их работу в пластической стадии, а при необходимости – только одного из них, Болтовые соединения таких энергопоглотителей со связями упрощают монтаж конструкций



**Рис. 1.12. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе "энергопоглочителей":**  
сдвиговые энергопоглочители: а) тип - а, б) тип - б; стержневые энергопоглочители: в) на базе стержней, г) на базе пластин,  
панельные энергопоглочители: д) ячейка каркаса с положением элементов энергопоглочителя до и во время колебаний здания,  
е) в виде сварной рамки с ребрами жесткости в узлах, ж) в виде сварного кольца:  
1 - колонна (металлическая стойка), 2 - балка (ригель), 3 - связевая раскос (диагональная связь),  
4 - энергопоглочитель, 5 - металлический стержень, 6 - металлическая пластина.

Экспериментальные исследования, проведенные в Казахском отделении ЦНИИСК и ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова, показывают, что надежность работы кольца в упругопластической стадии в несколько раз выше по сравнению с центральным прямоугольным контуром. Предлагаемая конструкция связевого каркаса сейсмостойкого здания обладает высокой надежностью по сравнению с известным каркасом. Применение такой конструкции обеспечивает снижение сейсмической нагрузки на здание на 15 - 20% и экономию металла 5 - 10% [4-8].

Высокой энергопоглощающей способностью отличаются трубчатые энергопоглотители, устанавливаемые в полураскосных и порталных связях (Рис. 1.13, а-в, е), выполненные из полуколец толстостенных круглых труб с узловыми соединениями на болтах они просты в изготовлении и монтаже. Изменение ширины колец по эпюре изгибающих моментов позволяет включить в пластическую работу до 60-80% объема металла. Благодаря чему они имеют повышенную удельную энергоемкость.

В соответствии с техническим решением а.с. СССР № 750000 предлагается два равнозначных варианта новации:

Конструкция трубчатого энергопоглотителя по первому варианту (Рис. 1.13, а-в), где отрезки толстостенных труб переменного сечения 5, по своим концам соединены через центрирующие прокладки 6 и шайбы 7 с помощью болтов 8 с пластинами переменного сечения из стального листа 9. Пластины 9 с помощью болтов 10 листовых траверс 11 и Т-образных траверс 12 через центрирующие прокладки 13, размещенные посередине пролета пластины, соединены с одной стороны с наклонной связью каркаса 3, с другой - с колонной и ригелем каркаса.

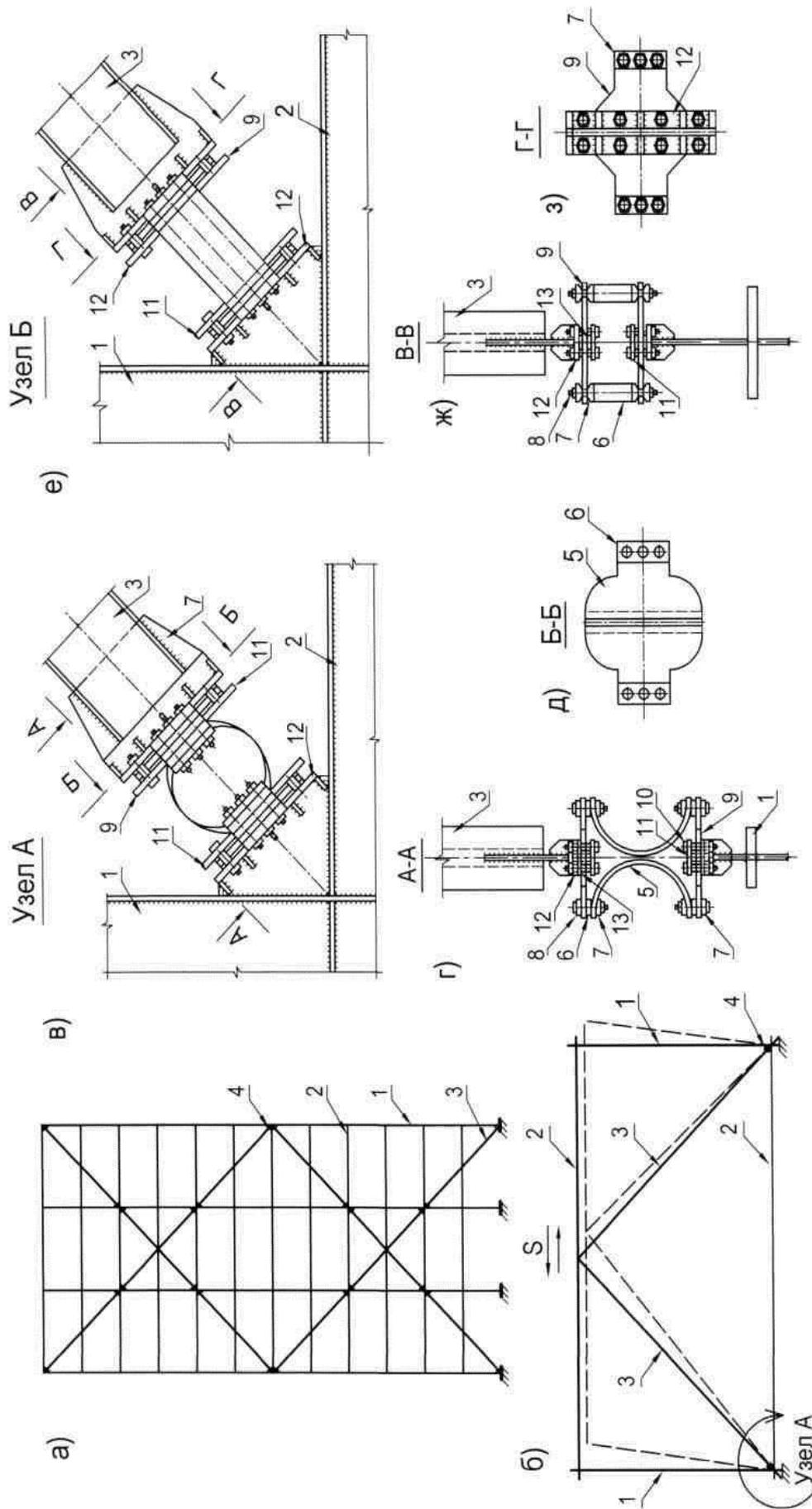
По второму варианту Рис. 1.13, а-б, е), пластины переменного сечения 9 соединены своими концами с помощью болтов через центрирующие прокладки 6 и шайбы 7. Аналогично первому варианту пластина 9 с помощью болтов 10, листовых траверс 11 и Т-образных траверс 12 через центрирующие прокладки 13 соединены с одной стороны с колонной и ригелем каркаса, а с другой - с наклонной связью.

Сечения элементов каркаса 1, 2, 3 подбираются таким образом, чтобы в момент, когда в пластинах 9 и отрезках толстостенных труб 5 дополнительного элемента 4 от изгибающих усилий развиваются пластические деформации, напряжения в элементах 1, 2, 3 не превышали расчетных. При этом сечения элементов 3 подбираются таким образом, что одновременно работают элементы обоих направлений: как на сжатие, так и на растяжение.

Сейсмостойкий, каркас рассчитывается и конструируется на восприятие определенного, горизонтального сейсмического воздействия, при котором все элементы связей (в том числе и дополнительные элементы) работают в упругой стадии. В случае перегрузочных воздействий, пластины 9 и криволинейные брусья 5 под действием сейсмических сил, превышающих расчетные, начнут изгибаться и работать в пластической стадии, поглощая энергию сейсмических воздействий, не давая возрастать усилиям в основных несущих элементах каркаса 1, 3, предохраняя от потери устойчивости связи 3 и колонны 1 каркаса. Сечение пластин 9 криволинейных брусьев 5 подбираются так, чтобы пластические деформации в них возникали одновременно.

Экспериментальные исследования, проведенные в Казахском отделении ЦНИИПСК, показали:

Что установка кольцевых энергопоглотителей в систему крестовых связей увеличивает энергоемкость конструкции в 17-19 раз и повышает их долговечность.



**Рис. 1.13. Конструктивные примеры систем активной сейсмозащиты на базе "узловых энергопоглочителей":**

а) сейсмостойкий каркас, б) ячейка каркаса с элементами до и во время колебания, в) узловой энергопоглотитель вариант А; г) сечение А-А, д) сечение Б-Б, е) узловой энергопоглотитель вариант Б, ж) сечение В-В, з) сечение Г-Г; 1 - колонна, 2 - ригель, 3 - наклонная связь, 4 - узловой энергопоглотитель, 5 - отрезки толстостенных труб, 6 - центрирующие прокладки, 7 - шайбы, 8 и 10 - соединительные болты, 9 - стальной лист переменного сечения, 11 - листовая и 12 - Т-образная траверса, 13 - центрирующие прокладки.

Энергоемкость энергопоглотителя зависит от уровня неупругого деформирования и конструктивного решения поглотителя. С уменьшением уровня неупругого деформирования увеличения массы энергопоглотителя его энергоемкость и долговечность работы возрастают.

Наиболее рациональным конструктивным решением является кольцо двутаврового сечения с поясами, подобранными из условия развития одинаковых относительных деформаций.

Для повышения энергопоглощающей способности кольца его пояса делают разного сечения, что обеспечивает одновременное развитие в них пластических деформаций, а стенку выполняют из гофрированной стали. Варьируя параметрами колец, можно обеспечить одновременную их работу в пластической стадии, а при необходимости – только одного из них, Болтовые соединения таких энергопоглотителей со связями упрощают монтаж конструкций. [5].

Отличительной особенностью энергопоглотителей является их высокая способность энергопоглощения, которая основана на особенности пластических деформаций металла. Однако, к сожалению, мы не можем отмечаемый положительный потенциал поглотителей использовать в соответствующем объеме для увеличения сейсмостойкости строительного объекта. Дело в том, что наибольшая эффективность энергопоглотителей наблюдается лишь в стадии пластических деформаций, т.е. при максимальных перемещениях строительной системы. В свою очередь, повышенная подвижность системы негативно сказывается на ее устойчивости. А это негативно сказывается на общей устойчивости строительного объекта.

Кроме этого, в период сейсмического воздействия и сразу после него, повышенная подвижность строительной системы ведет к раскачке строения ветровым воздействием и другими динамическими воздействиями, что, в свою очередь, ведет к дискомфорту людей, находящихся в строении, и к разрыву инженерных сетей и коммуникаций. Чтобы уменьшить, отмечаемые негативные явления, приходится искусственно конструктивными мероприятиями снижать подвижность строительной системы, тем самым снижается сейсмоэффективность энергопоглотителей. В результате, сейсмоэффективность энергопоглотителей составляет лишь 15-20%, т.е. находится в тех же пределах что и у технических решениях на базе пластических шарниров.

И, наконец, из-за случайного характера и пространственной работы сейсмического воздействия, пластические особенности энергопоглотителей будут проявляться случайным образом. Что, естественно, приведет к дополнительному смещению центра масс по отношению к центру жесткости и, как следствие, к дополнительному закручиванию строительного объекта вокруг своей оси и перегрузке крайних элементов каркаса.

Чтобы должным образом учесть и конструктивно обеспечить отмечаемые выше особенности, требуется очень высокая культура проектирования, возведения и эксплуатации строительного объекта, которой, к сожалению, обладают далеко не все строительные организации.

### 1.3.2.5. Экструзивные демпфера

Успешная работа экструзионных энергопоглотителей зависит от способности твердых тел циклически протягиваться, т.е. за счет трения внутреннего сопротивления при деформации материала энергия сейсмического воздействия преобразуется в тепловую энергию и в виде тепла рассеивается в окружающее пространство, что ведет к быстрому затуханию колебаний сейсмической нагрузки.

Заметим, что экструзия (от англ. extrusion выталкивание, выдавливание) – метод изготовления профилированных изделий из пластмасс и резины, состоящий в непрерывном выдавливании размягченного материала шнеком или поршнем через профилирующее отверстие (мат-рицу) на специальной машине – экструдере. Главным образом, данный метод используется для производства изделий большой длины (труб, стержней, пленок и т.п.). [1]

В экструзионных энергопоглотителях в качестве рабочего материала деформации используется свинец, что объясняется его некоторыми физическими особенностями:

Свинец - металл голубовато-серого цвета. На воздухе, вследствие образования тончайшей окислительной пленки, металлический блеск свежего разреза свинца постепенно исчезает. Одновременно с этим, окислительная пленка предохраняет свинец от его дальнейшего окисления, что обеспечивает свинцу долговечность.

Это тяжелый металл с плотностью  $11.34 \text{ г/см}^3$ .

Свинец пластичен, мягок (режется ножом, царапается ногтем) – прочность по Бринеллю 25-40 мн/м<sup>2</sup>.

Предел прочности при растяжении 12-13 Мн/м<sup>2</sup>, при сжатии – около 50 Мн/м<sup>2</sup>. Относительное удлинение при разрыве 50-70%.

Температура рекристаллизации свинца лежит ниже комнатной (около  $-35^{\circ} \text{C}$  при степени деформации 40% и выше), что значительно ниже, чем у других металлов. Под температурой рекристаллизации понимают температуру, при которой в течение одного часа происходит рекристаллизация 50% частиц. Заметим, что для алюминия, меди и железа она соответственно равна 150, 200 и  $450^{\circ} \text{C}$ . [2]

В практике людей свинец был известен за 6-7 тыс. лет до н.э. народам Месопотамии, Египта и других стран древнего мира. Он служил для изготовления статуй, предметов домашнего обихода, табличек для письма. Римляне пользовались свинцовыми трубами для водопроводов. [2]

Нашел применение свинец и в строительной практике древних строителей. Дело в том, что строительство в Европе на протяжении тысячелетий до римской эпохи осуществлялось без использования строительного раствора. Однако, как известно, несущие элементы – фундамент, стены, колонны, балки, настил образуют строительную систему благодаря соединительным связям, в качестве которых в то время выступали силы тяжести, трения и металлические скрепы, вставленные в соответствующие вырезы в камне и через специальные отверстия залитые свинцом. Эта стоечно-балочная система господствовала в греческой архитектуре как в классический период (V в. до н.э.), так и в архаический (VIII-V вв. до н.э.). В VII в. до н.э. в Греции эта техника совершенствуется, и вместе с горизонтальными связями – скобами – стали применять вертикальные связи с металлическими штыри (пироны). Мягкая прокладка из свинца смягчала удар жесткого металла о стенку отверстия в мраморе при землетрясениях, поэтому почти нет сколов стенок отверстий, куда были вставлены металлические скобы, залитые свинцом. Таким образом, создается связь с упругопластическими свойствами, которая предохраняет элементы конструкции от соударения. Эти скобы и пироны в свинце – важные элементы сейсмозащиты греческих храмов. Кстати, одновременно свинец предохранял металлические скобы и пироны не

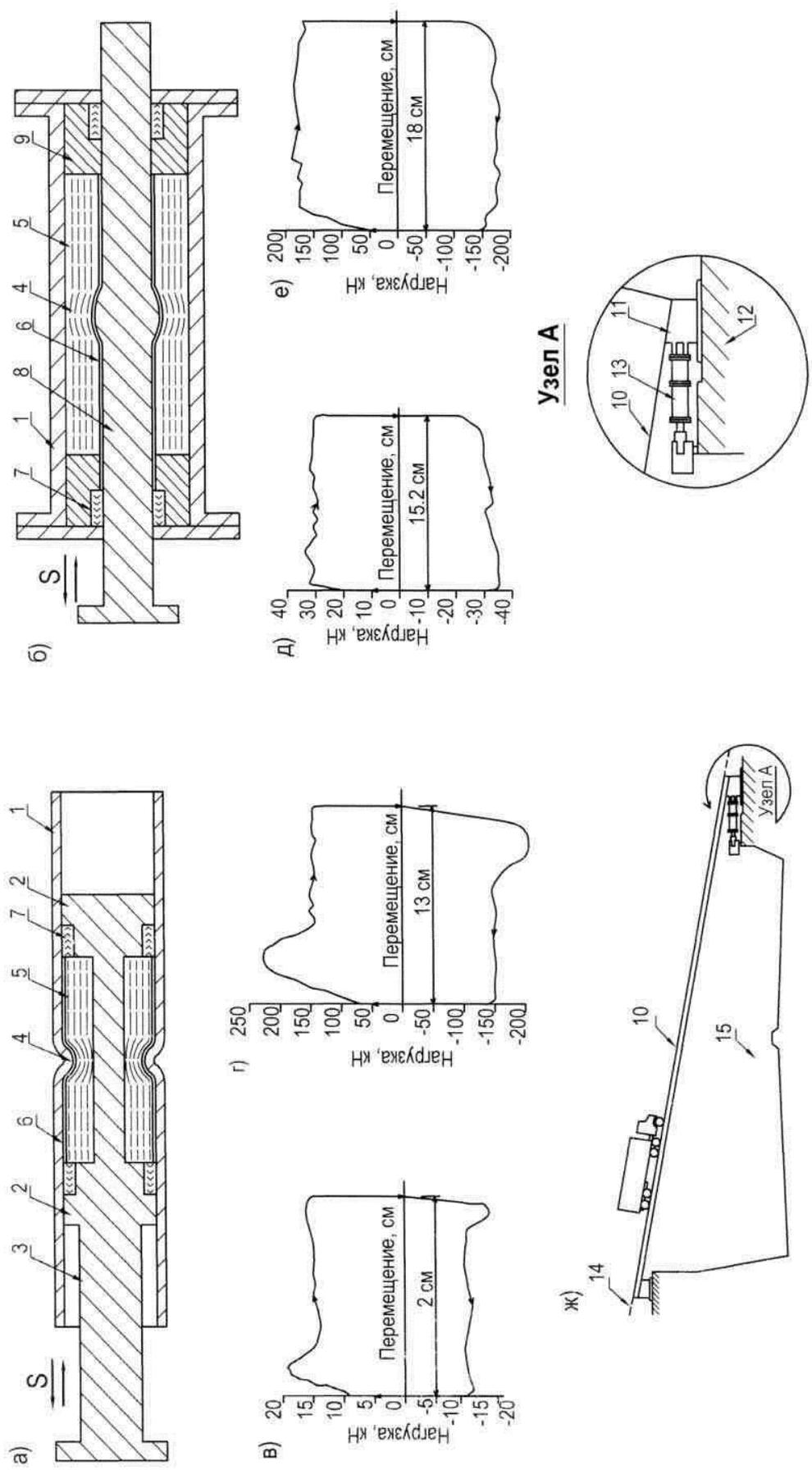
только от ударов, но и от ржавления. [3-5]

Кроме этого, в Византии свинцовые пластины укладывались на колонны и под колонны, что обеспечивало равномерную загрузку колонны и предохраняло ее от внецентренного сжатия даже в случае неравномерных осадок всей конструкции. Чтобы свинец при загрузке колонны не выдавливался, его обжимали металлическими обручами. В частности, именно такое конструктивное решение было использовано при строительстве собора св. Софии в Константинополе (527-532 гг.). [3, 5].

Свинец активно используется и в современной производственной практике, а вот, непосредственно в строительстве – свинец, как металл, совсем не используется и виной всему низкие прочностные свойства свинца. Введение в строительство экструзионных энергопоглотителей может изменить сложившееся положение в строительной практике со свинцом. Пока, наиболее широкое применение свинец получил в производстве свинцовых аккумуляторов и в качестве защитных оболочек электрических кабелей, защищающих их от коррозии и механических повреждений. Свинец сильно поглощает рентгеновские и  $\gamma$ -лучи, благодаря чему его применяют как материал для защиты от действия (контейнеры для хранения радиоактивных веществ, аппаратура рентгеновских кабинетов и др.). На основе свинца изготавливаются многие свинцовые сплавы. [2]

На практике имеется два равнозначных варианта представления идеи экструзионных энергопоглотителей: по авторскому свидетельству СССР № 1237764 (М. кл. E04 H9/02) и по предложению специалистов Новой Зеландии [6-8]. Вследствие чего, обе новации имеют одинаковое право на рассмотрение. Однако если учесть наличие практической реализации и экспериментальные подтверждения работоспособности энергопоглотителей у второго предложения, то для рассмотрения оно более ценно, а значит, и более предпочтительно.

Итак, специалистами Новой Зеландии разработано два типа экструзионных энергопоглотителей.



**Рис. 1.2.2.5. Конструктивные примеры активной сейсмозащиты на базе экстремизивных демпферов:**  
 экстремизивный энергопоглодитель по предложениям специалистов Новой Зеландии (а также а.с СССР № 1237764 М. кл. E04 h9/02):  
 а) первого типа, б) второго типа; диаграммы "нагрузка-перемещение": в) для нагрузки 150 кН; г) для нагрузки 170 кН; ж) для нагрузки 30 кН,  
 д) для нагрузки 300 кН, е) для нагрузки 30 кН; з) схема автодорожного наклонного моста; 1 - цилиндр, 2 - поршень, 3 - стержень,  
 4 - экстремизивное сужение (отверстие), 5 - свинец, 6 - смазка, 7 - уплотнение, 8 - стержень с утолщением, 9 - вкладыш,  
 10 - пролетное строение, 11 - шарнирная опора, 12 - фундамент, 13 - экстремизивный поглотитель энергии, 14 - автодорога, 15 - автострада,

Экструзионный энергопоглотитель I типа (Рис. 1.14, а) состоит из цилиндра 1 с толстыми стенками и двух поршней 2, соединенных стержнем 3. Посредине цилиндра предусмотрено местное сужение (экструзионное отверстие) 4 сечения. Пространство между поршнями 2 и стенками цилиндра 1 заполнено свинцом 5, который отделен от стенки цилиндра тонким слоем смазки 6. Вокруг поршней предусмотрено уплотнение 7.

Затем соединительный стержень 3, своей выходящей из цилиндра 1 частью, присоединяется к одной части конструкции; а конец цилиндра 1 с противоположной стороны закрепляется к другой части конструкции. При колебаниях конструкции свинец 5 протягивается через экструзионное сужение 4, образованное стенками цилиндра 1 в его суженном сечении и стержнем. Так как протягивание связано с процессом пластических деформаций свинца, то по мере продвижения поршня в цилиндре происходит рассеивание энергии. [6].

Экструзионный энергопоглотитель II типа (Рис. 1.14, б.) в отличие от поглотителя энергии I типа состоит из цилиндра 1 с ровными стенками и стержня 8 с утолщением, движущегося в цилиндре 1. Утолщение на стержне 8 располагается в средней его части. Пространство между стержнем 8 и стенками цилиндра 1 заполнено свинцом 5. Свинец отделен от стенок цилиндра тонким слоем смазки 6 и удерживается в постоянном положении специальными вкладышами 9.

Как и в первом случае, энергопоглотитель II типа устанавливается между двумя стыкуемыми элементами конструкции, причем стержень с утолщением 8 крепят к одному элементу конструкции, а конец цилиндра 1 - к другому. При колебаниях конструкции стержень 8 осуществляет движение относительно цилиндра 1, заставляя свинец 5 протягиваться через экструзионное сужение (экструзионное отверстие) 4, расположенное между стенками цилиндра 1 и утолщением на стержне 8. [7].

Рассматриваемые экструзионные энергопоглотители с ходом поршня  $\pm 20$  см, рассчитанный на восприятие динамической силы 150 кН, имеют следующие размеры: наружный диаметр 15 см; длина 150 см. Масса такого энергопоглотителя составляет 100 кг. Специалистами Новой Зеландии были проведены исследования работы обоих типов энергопоглотителей. Испытания проводили на Инстонской универсальной машине, допускающей динамическую силу 250 кН. Скорость перемещения поршня в цилиндре составляла 1 см/мин. Результаты исследований в виде графика «нагрузка – перемещение» соответственно для энергопоглотителя I типа представлены на Рис. 1.14, в-г, а для энергопоглотителя II типа - на Рис. 1.14, д-е.

Сравнение графиков работы экструзионных энергопоглотителей между собой показывает, что гистерезисные кривые «нагрузка – перемещение» для энергопоглотителя II типа, в отличие от кривых для поглотителей I типа не имеют пиков, что объясняется более плавным изменением поперечного сечения отверстия в области утолщения на стержне. К.п.д. поглотителя энергии I типа составлял 0.73-0.79, II типа - 0.9-0.93.

На той же универсальной машине, с целью определения зависимости скорости протягивания от выталкивающей силы были проведены испытания энергопоглотителей при скорости протягивания свинца от  $10^{-6}$  до  $3,6 \cdot 10^3$  см/мин. Испытания показали, что при скорости протягивания менее  $10^{-1}$  см/мин для увеличения скорости протягивания в 10 раз необходимо увеличить выталкивающую силу на 32%, в то время как при скорости протягивания более  $10^{-1}$  см/мин для увеличения скорости протягивания в 10 раз требуется увеличить выталкивающую силу всего лишь на 7%.

Были также проведены испытания поглотителя энергии на частотах 0,5; 1 и 2 Гц в течение 3400 циклов. После этого испытания свойства поглотителя не изменились, и на основании этого было сделано заключение, что поглотитель выдержит ряд землетрясений.

Кроме лабораторных испытаний экструзионные энергопоглотители получили в Новой Зеландии и практическое применение, в частности, при строительстве мостов с наклонным пролетным строением над автострадой 15 (Рис. 1.14, ж) в г. Веллингтон. На Рис. 1.14, ж показано схематическое решение конструкции наклонного моста. Пролетное строение 10 шарнирно 11 опирается на фундамент 12. Для поглощения энергии колебаний установлено шесть экструзионных энергопоглотителей 13, которые одним концом прикреплены к опоре моста 11, а другим - к фундаменту 12. Масса моста  $8 \cdot 10^5$  кг. Масса каждого поглотителя энергии 100 кг. Отношение общей массы поглотителей энергии к массе моста составляет  $7.5 \cdot 10^{-4}$  (0,075%). При нагрузке 1000 кН максимальный ход стержня составляет  $\pm 20$  см, при этом за один полный цикл поглощается энергия, равная  $8 \cdot 10^5$  КДж.

В качестве недостатков экструзионных энергопоглотителей следует особо отметить, что из-за цилиндрической формы изготовления энергопоглотители могут работать лишь в одном пространственном направлении (по одной оси) и это в то время как сейсмическое воздействие является пространственно ориентированным и обладает 6 степенями свободы (три смещения осей и три поворота относительно своих осей). Использование ряда энергопоглотителей, с установкой их по каждой оси, сильно усложняет и удорожает конструкцию сейсмоизолятора. Но, к сожалению, из-за конструктивных особенностей энергопоглотителей, это не решает проблемы в целом, так как не охватывает три поворота относительно осей координат.

В качестве второго существенного недостатка экструзионных энергопоглотителей выступает высокое трение сопротивление, связанное с проталкиванием свинца экструзией. Дело в том, что сейсмическое воздействие к объекту подходит от грунта. Чем выше внутреннее трение сопротивления сейсмоизолятора, тем большая часть сейсмического воздействия через энергопоглотители будет передана сейсмоизолированной части строения.

В результате, идея использования экструзионных энергопоглотителей для сейсмоизоляции строительных объектов в рассмотренном виде становится бесперспективной и экономически нецелесообразной. Однако в реальных условиях на строительный объект, наряду с сейсмическим воздействием, оказывают влияние еще ветровые и другие динамические нагрузки. Применение активных систем сейсмозащиты, из-за уменьшенных сил упругости, малого внутреннего и внешнего трения, ведет к тому, что ветровые и динамические приводят к нежелательным подвижкам сейсмоизолируемой части по отношению к фундаменту, что, в свою очередь, ведет к раскачке сейсмоизолируемой части строения, раскрытию швов - дискомфорту людей, разрыву инженерных сетей и коммуникаций.

Обычно, весь отмечаемый негатив компенсируется путем введения специальных стабилизаторов положения, более известных как включающиеся и выключающиеся связи. Конструкция экструзионных энергопоглотителей как раз и является одним из удачных решений такого стабилизатора положения. Как уже ранее отмечалось, при малой скорости протягивания, соответствующей ветровому воздействию, требуется более существенное воздействие протягивания, чем при больших скоростях протягивания свинца, соответствующих сейсмическому воздействию. Объясняется это тем, что при протягивании свинца, из-за большого внутреннего трения сопротивления, свинец нагревается и как следствие размягчается, вследствие чего, трение внутреннего сопротивления уменьшается, а значит, уменьшается и негативное силовое воздействие, которое придется на сейсмоизолируемую часть строения. Особо выделим, что после охлаждения энергопоглотителя, свинец автоматически вернется в свое исходное рабочее положение - затвердеет, а значит, в рабочее положение вернется и сам экструзивный энергопоглотитель.

### 1.3.2.6. Демпфера вязкого трения

Использование систем активных систем сейсмозащиты с вязким трением, связано с возможностью значительного поглощения энергии колебания путем превращения механической энергии в тепловую и рассеивания ее в окружающую среду. Достоинство демпферов вязкого трения заключается в возможности значительного увеличения затухания без повышения жесткости и массы конструкции. [1-2].

Изначально, свое развитие вязкие демпфера получили в машиностроении, приборостроении и в транспортных системах: судостроении, автомобилестроении, железнодорожном транспорте и авиатехнике. Именно в отмечаемых отраслях демпфера получили свое наибольшее применение и развитие. Однако прежде чем начнем рассматривать конструктивные особенности вязких демпферов, разберемся с важными для рассмотрения понятиями вязкость и демпфер.

Жидкость - одно из агрегатных состояний вещества. Основным свойством жидкостей является текучесть. Если к участку жидкости, находящейся в равновесии, приложить внешнюю силу, то возникнет поток в том направлении, в котором эта сила приложена: жидкость потечет [3]. Однако со временем, движение, сообщенное части жидкости, постепенно замедляется и наконец, совершенно прекращается, превращаясь в теплоту. Причина, задерживающая свободное движение частей жидкости, причина, мешающая жидкости «течь», называется «внутренним трением» или вязкостью жидкости. Чтобы поддерживать течение жидкости с некоторою постоянной скоростью, необходимо непрерывное действие силы или постоянное давление, величина которого и может служить мерой вязкости. Величина вязкости характеризует как бы степень несовершенства жидкости. Вязкость - важная физико-химическая характеристика веществ. [4]

В условиях установившегося слоистого течения при постоянной температуре вязкость газов и нормальных жидкостей (так называемых ньютоновских жидкостей) - постоянная величина, не зависящая от градиента скорости.

Несмотря на значительное число исследований, привести зависимость между составом жидкостей и их вязкостью к простой формуле и поныне не удалось. На практике широко применяют ряд эмпирических и полуэмпирических формул вязкости, достаточно хорошо отражающих зависимость вязкости отдельных классов жидкостей и растворов от температуры, давления и химического состава. [4-5]

Молекулярно-кинетическая теория объясняет вязкость движением и взаимодействием молекул. В газах расстояния между молекулами существенно больше радиуса действия молекулярных сил, поэтому вязкость газов определяется главным образом молекулярным движением. Между движущимися относительно друг друга слоями газа происходит постоянный обмен молекулами, обусловленный их непрерывным хаотическим (тепловым) движением. Переход молекул из одного слоя в соседний, движущийся с иной скоростью, приводит к переносу от слоя к слою определенного количества движения. В результате медленные слои - ускоряются, а более быстрые замедляются. Работа внешней силы, уравнивающей вязкое сопротивление и поддерживающей установившееся течение, полностью переходит в теплоту. [5]

Вязкость газа не зависит от его плотности (давления), так как при сжатии газа общее количество молекул, переходящих из слоя в слой, увеличивается, но зато каждая молекула менее глубоко проникает в соседний слой и переносит меньшее количество движения (закон Максвелла).

В жидкостях, где расстояния между молекулами много меньше, чем в газах, вязкость обусловлена в первую очередь межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. В жидкости молекула может проникнуть в соседний слой лишь при образовании в нем полости, достаточной для перескакивания туда молекулы. На образование полости (на

«рыхление» жидкости) расходуется так называемая энергия активации вязкого течения. Энергия активации уменьшается с ростом температуры и понижением давления. В этом состоит одна из причин резкого снижения вязкости жидкостей с повышением температуры и роста ее при высоких давлениях.

Вязкость жидкостей зависит от химической структуры их молекул. В рядах сходных химических соединений (насыщенные углеводороды, спирты, органические кислоты и т.д.) вязкость изменяется закономерно - возрастает с возрастанием молекулярной массы. Высокая вязкость смазочных масел объясняется наличием в их молекулах циклов. Две жидкости различной вязкости, которые не реагируют друг с другом при смешивании, обладают в смеси средним значением вязкости. Если же при смешивании образуется химическое соединение, то вязкость смеси может быть в десятки раз больше, чем вязкость исходных жидкостей.

Возникновение в жидкостях (дисперсных системах или растворах полимеров) пространств, структур, образуемых сцеплением частиц или макромолекул, вызывает резкое повышение вязкости. При течении «структурированной» жидкости работа внешней силы затрачивается не только на преодоление истинной (ньютоновской) вязкости, но и на разрушение структуры. [5]

Демпфер - (нем. Dampfer – глушитель и от dampfen – заглушать) - глушитель, устройство для уменьшения, глушения, успокоения (демпфирования) колебаний или предотвращения механических колебаний, возникающих при работе в машинах, механизмах, устройствах и приборах. Применяются гидравлические и пневматические демпфера в автоматических регуляторах и измерительных приборах, демпфера в виде катушек индуктивности в электрических машинах. [6-9]

Важным свойством демпфера является уменьшение добротности той колебательной системы, к которой он подключен. Принцип действия демпфера заключается в возвратно-поступательном движении поршня, через небольшие калиброванные отверстия (жиклеры) которого масло из одной камеры перепускается в другую, превращая механическую энергию в тепловую. [6-9]

Так как конструктивные особенности вязких демпферов не предусматривают самостоятельного возвращения элементов демпфера в исходное (рабочее) положение, то в качестве возвращающей силы используется сила упругости пружины (амортизатора), специально устанавливаемой совместно с демпфером. Для чего демпфер располагается либо внутри пружины, либо, при большой нагрузке, - в окружении ряда пружин (Рис. 1.15, ж). Под нагрузкой пружина, в зависимости от направления действия нагрузки, либо сжимается, либо растягивается. Одновременно с этим силы упругости стремятся вернуть пружину в исходное положение. Вместе с этим в исходное положение возвращается и шток демпфера. При этом жесткость демпфера зависит от жесткости возвращающей пружины, начальной настройки перепускных клапанов, изначальной вязкости жидкости (технического масла) и температуры окружающей среды, которая влияет на вязкость рабочей жидкости.

Не менее важный вопрос это расположение демпфера. Наиболее выгодное, с точки зрения работы, место установки - как можно ближе к колесу, перпендикулярно плоскости подвески. [9, 11-12]

Из-за наличия возвращающей пружины, вязкие демпфера в обиходе получили название амортизаторов, а движение поршня вниз – «сжатием», а вверх (обратный ход) – «отбоем». [9, 11-12]

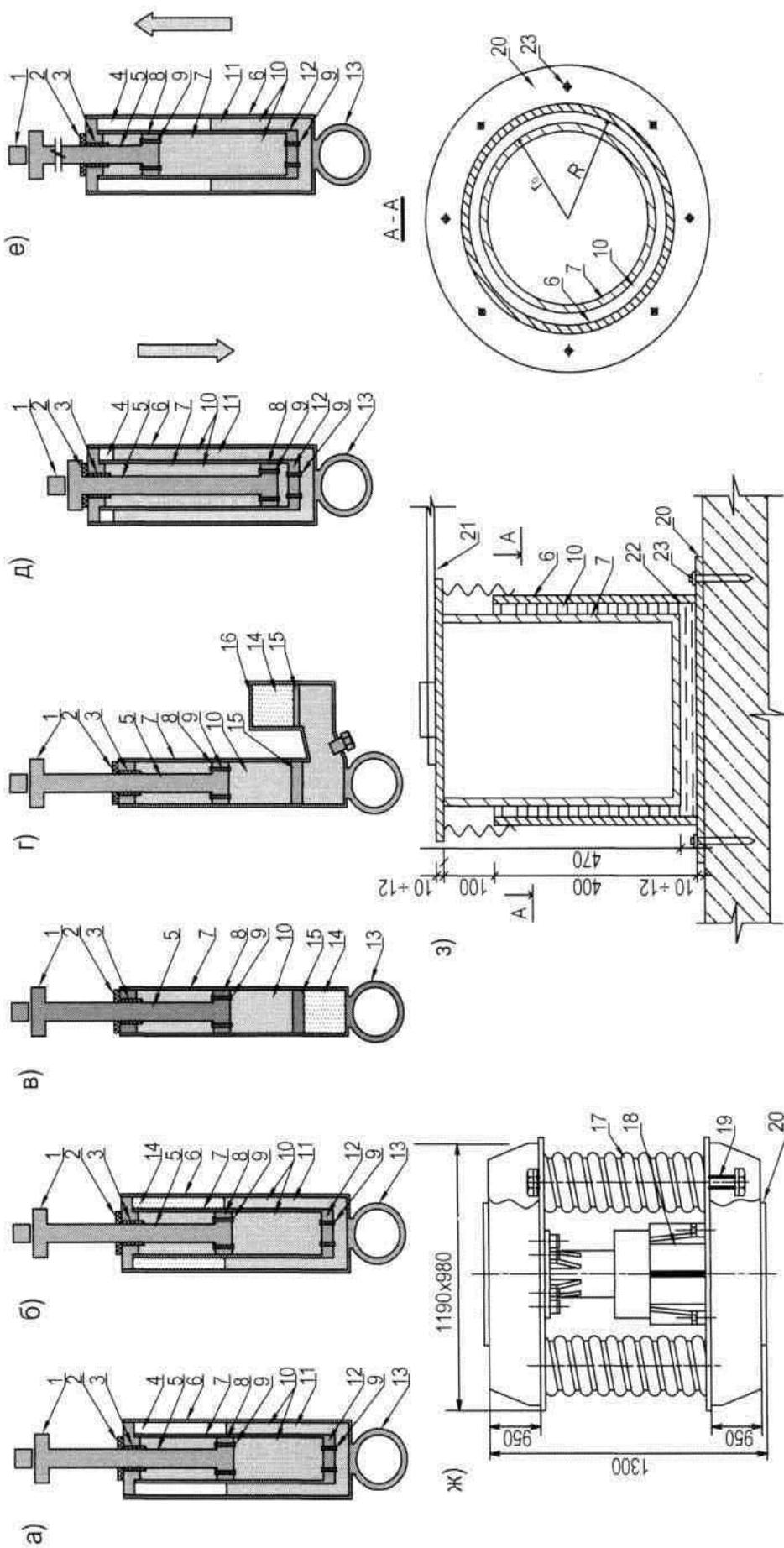
По архитектуре их делят на двухтрубные (Рис. 1.15, а, б), однотрубные (Рис. 1.15, в) и однотрубные с выносной камерой (Рис. 1.15, г). По наполнению: жидкостные (гидравлические) (Рис. 1.15, а) и газовые (с гидравлическим газовым подпором) (Рис. 1.15, б-г). Существуют и чисто

газовые, амортизаторы, в которых используется очень высокое давление газа (до 60 атм.), но они встречаются редко. [9-12]

Конструктивно гидравлический двухтрубный демпфер состоит соосно установленных внешнего защитного цилиндра 6, выполняющего роль защитного корпуса, внутреннего цилиндра (рабочей колбы) 8, снабженной понизу донным клапаном сжатия 12, штока 2 с поршнем 10, рабочей жидкости (технического масла) 7, располагаемого внутри рабочей колбы и некоторого объема воздуха 5. При этом донный клапан сжатия 12 соединяет полостью рабочей колбы 8 с компенсационной камерой 9 (зазор между колбой и внешним корпусом). Кроме этого, поршень 10 и донный клапан 12 снабжены рядом калибровочных отверстий, перепускных и регулировочных клапанов 11.

При ходе сжатия, когда шток входит внутрь демпфера, рабочая жидкость 7, через клапана сжатия 12 на поршне 10, прокачивается из полости рабочей колбы 8 в полость компенсационной камеры 9. При этом ходе объем штока 2 внутри демпфера увеличивается, поэтому часть рабочей жидкости, через клапаны сжатия 12, выдавливается из внутренней части рабочей колбы 8 в компенсационную камеру 9, воздух 5 которой сжимается. От настройки этих клапанов зависит усилие сопротивления демпфера при ходе сжатия.

При выходе штока из демпфера (ход отбоя) рабочая жидкость 7 из компенсационной камеры 9, через клапаны отбоя 11 на поршне 10, прокачивается в полость рабочей колбы 8. Настройкой этих клапанов определяется характеристика демпфера при ходе отбоя. Объем штока 2 внутри демпфера уменьшается, поэтому часть рабочей жидкости (масла) из компенсационной камеры 9 втягивается во внутреннюю полость рабочей колбы 8, а воздух 5 компенсационной камеры 9 разряжается. [9-12]



**Рис. 1.15. Конструктивные примеры активной сейсмозащиты на базе "вязких демпферов:**

а) двухтрубный масляный, б) двухтрубный газовый, в) однотрубный газовый г) газовый с выносной камерой; схема работы: д) при ходе сжатия, е) при ходе отбоя (во всех случаях амортизирующая пружина условно не показана); ж) сейсмоизолятор фирмы GERB (ФРГ); з) демпфер разработки института ЦНИИСК им. Кучеренко; 1 - крепление, 2 - уплотняющая манжета; 3 - наплавляющая втулка, 4 - воздух, 5 - шток поршня, 6 - внешний корпус, 7 - внутренний корпус (рабочая колба), 8 - поршень, 9 - регулировочные клапана, 10 - рабочая жидкость (техническое масло), 11 - компенсационная камера, 12 - донный клапан (днице корпуса), 13 - проушина, 14 - компенсационный газ (газ азот под высоким давлением), 15 - свободно-плавающий поршень сжатия, 16 - выносная камера сжатия, 17 пружина, 18 - вязкий демпфер VES, 19 - болт крепления, 20 - опорная плита, 21 - рычаг, 22 - вода, 23 - анкера крепления.

Далее рассмотрим основные узлы и детали и их влияние на работоспособность демпфера.

Шток 2 является одной из важнейших деталей демпфера. Особое внимание уделяется наружной поверхности штока, которую чаще всего хромируют с последующей полировкой. Твердость и определенная шероховатость наружной поверхности непосредственно влияют на ресурс амортизатора. Любое повреждение хромового покрытия (отслоение хрома, сколы, риски, потертости, следы от ударов и т.д.) приводит к быстрому износу манжеты, потере ее герметичности и выходу амортизатора из строя. Для предохранения поверхности штока от разрушающих внешних воздействий, очень важно следить за состоянием защитных комплектов (пыльников) на демпфере. Кроме того, важной является ровность штока. При сильном ударе (при попадании большую яму на скорости) шток 2 может погнуться, что также может привести к выходу демпфера из строя. [12]

Центрируется шток 2 относительно корпуса демпфера при помощи направляющей втулки 4. Она представляет собой втулку 4 с антифрикционным покрытием на внутренней поверхности. Сама втулка запрессована в корпус 6. Весь узел рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить свободное перемещение штока; и прокачиваемость демпфера, с одной стороны, и отсутствие люфта штока, с другой стороны. Размеры и материалы направляющей втулки зависят от условий работы демпфера. [12]

Поршень демпфера 10 имеет ряд отверстий, закрытых регулировочными клапанами 11. Конструктивно, отмечаемые клапана 11 представляют собой наборов пружинных шайб разного вида и жесткости, и шайб, ограничивающих открытие клапанов. При этом регулировочные клапана установлены таким образом, что одни работают только при ходе сжатия, а с другие – при ходе отбоя. Кроме этого, на наружной части поршня 10 находится уплотнение, выполненное из антифрикционного материала. [9-12]

При ходе сжатия рабочая жидкость 7 из нижней зоны рабочей колбы 8 протекает по каналам отверстий и, приоткрывая компрессионные клапана 11, поступает в полость над поршнем 10. При ходе отбоя компрессионные клапана 11 закрываются и рабочая жидкость 7 через клапана отбоя из верхней зоны 8 поступают в нижнюю зону рабочей колбы 8. Подбирая шайбы определенной жесткости в регулировочных клапанах 11, регулируются рабочие характеристики демпфера.

Донный клапан сжатия 12 по конструкции и выполняемым задачам очень похож на поршень демпфера 10. Отличие лишь в том, что при ходе сжатия рабочая жидкость 7 из зоны рабочей колбы перемещается в зону компенсационной камеры 9, а при ходе отбоя, наоборот – из зоны компенсационной камеры 9 перемещается в зону рабочей колбы 8. [9-12]

Достоинством, выше рассмотренных демпферов, следует отметить их конструктивную простоту, приемлемую надежность и рабочие характеристики.

В качестве недостатков следует отметить:

Высокий уровень изготовления в заводских условиях и высокоточном оборудовании.

Двухтрубные демпфера могут устанавливаться на объект защиты только в вертикальном положении. Установка амортизатора под углом снижает его демпфирующую эффективность.

По сравнению с однотрубными системами, наличие воздуха в компенсационной камере, ухудшает условия охлаждения двухтрубных демпферов.

При больших нагрузках и интенсивной работе поршня 10, рабочая жидкость 7 настолько быстро меняет свой уровень в компенсационной камере 9, что невольно начинает смешиваться с имеющимся в ней воздухом 5. В результате, вместо однородной вязкой жидкости получается пена, имеющая совсем иную плотность и вязкость. Пена попадает в полость рабочей колбы 8, и характеристики работы демпфера резко меняется: сила сопротивления на поршне 10 практически исчезает. Конструкторы этот

неприятный эффект давно заметили и стали в компенсационную камеру 9 закачивать инертный газ азот под давлением 4 -20 атм. Такое решение положило основу гидравлического демпфера с газовым подпором (Рис. 1.15, б), в котором процесс смешивания рабочей жидкости на основе технического масла с газом идеи менее интенсивно, чем в конструкциях первого типа (Рис. 1.15, а). Из-за данной особенности, отмечаемые демпфера, так же еще называются газомасляными или газовыми.

В результате демпфирование улучшается. Однако для таких демпферов обязательно требуется наличие специального уплотнения штока 10. [9, 11-12]

Кроме уменьшения вспенивания жидкости, закачка инертного газа дает еще одно преимущество перед масляными демпферами – уменьшение окисления жидкости и коррозии деталей внутри демпфера.

Однотрубные демпфера получили меньше, чем двухтрубные демпфера, распространение среди потребителей. Устройство демпферов, изготовленных по однотрубной схеме (Рис. 1.15, г-д), принципиально отличается от устройства двухтрубных. При этом основное отличие демпфера заключается в том, что его рабочая колба 8 дополнительно выполняет еще и роль защитного корпуса 6, а инертный газ (азот) 14, сжатый под высоким давлением и необходимый для компенсации изменений объема штока 2, расположен в одном с рабочей жидкостью 7 объеме рабочей колбы 8, но отделен от нее разделительным, свободноплавающим поршнем 15.

При введении штока 2 в демпфер, свободноплавающий поршень 15 сдвигается и дополнительно сжимает компенсационный газ 14. При выходе штока 2 из демпфера, давление, сжатого под давлением газа 14, перемещает поршень 6 на расстояние, необходимое для компенсации уменьшения объема штока, находящегося внутри демпфера. При этом газовый подпор способствует не только поддержанию стабильной работы демпферу, но является дополнительным амортизатором (дополнительной пружиной).

Функции клапана сжатия и отбоя в этой конструкции выполняют соответствующие группы регулировочных клапанов 11 на поршне 10. Именно их регулировка определяет жесткость демпфера при работе.

Однотрубное устройство амортизаторов имеет свои преимущества и недостатки перед двухтрубной схемой.

Достоинства однотрубных демпферов:

Имеют высокие рабочие характеристики.

Кроме того, они эффективнее охлаждаются, поскольку воздухом обдувается непосредственно рабочий цилиндр.

С другой стороны, поскольку подпорный газ 14 плотно отделен от масла плавающим поршнем 15, однотрубные демпфера можно устанавливать под любым углом.

Плюс, при тех же габаритах, что и у двухтрубных демпферов, внутренний диаметр рабочей колбы 8 и диаметр поршня 10 будут больше. Это означает больший объем масла 7, более стабильные характеристики и лучшую теплоотдачу.

Недостатки однотрубных демпферов:

Более сложная конструкция по сравнению с двухтрубным демпфером и, как следствие, более высокая стоимость.

Демпфера более чувствительны к внешним воздействиям. Замятая колба приводит к выходу из строя демпфера, тогда как двухтрубные защищены внешним цилиндром.

Далее, высокая чувствительность к температуре. Чем она выше, тем выше давление газового подпора и демпфер работает жестче.

Для работоспособности амортизатора подпорный газ 14 необходимо закачивать под большим

давлением - 20...30 атм., вследствие чего, манжета 3 находится под большим давлением, что снижает ее ресурс.

Даже небольшая неплотность в уплотнении разделительного поршня 15, например, из-за износа приводит к выходу демпфера из строя.

Эволюцией однотрубных демпферов являются модели с выносной компенсационной камерой 16. Камера с газовым подпором вынесена за пределы самого демпфера в отдельный резервуар. Такая конструкция позволяет, не увеличивая размеры самого демпфера, увеличить объем подпорного газа 14 и рабочей жидкости (масла) 7, что очень положительно влияет на управляемость. Такие демпферы имеют большой ход. Но еще больший эффект от выпускной камеры 16 в том, что на пути рабочей жидкости 7, перетекающего из основного рабочего цилиндра в дополнительную камеру, можно устанавливать систему регулирующих клапанов 11, которые будут играть роль клапана сжатия, как в двухтрубной конструкции. Отделив друг от друга клапана, работающие на сжатие и отбой, можно заложить многодиапазонные регулировки. Можно менять жесткость работы амортизатора для различных скоростей движения поршня. Иногда можно встретить систему с набором перепускных клапанов. Кроме большого внешнего резервуара, демпфер оснащен несколькими трубками, на концах которых находятся регулировочные головки. По этим трубкам масло перепускается из над- и поршневых камер друг в друга. Регулируя эти перепускные каналы, можно получить нужные характеристики работы амортизатора на определенное положение поршня (режим работы) Такие амортизаторы чувствительны не только скорости перемещения поршня, но и к его позиции внутри колбы. Наличие большого числа трубок, по которым проходит рабочая жидкость, способствует лучшему охлаждению. [9, 11-12]

Если и другие варианты совершенствования конструкции, например, компания General Motors предложила магнитные амортизаторы на моделях Cadillac Sevilla и Chevrolet Corvette. Совместно с корпорацией Delphi была разработана система MRC (Magnitic Ride Control – магнитный контроль перемещения). В этой системе отсутствуют привычные способы регулировки усилия. Всю работу на себя берет магнитно-реологическая жидкость. Эта рабочая жидкость работает, как в обычных демпферах, но под воздействием электромагнитного поля, генерируемого специальными катушками, она меняет свою вязкость. Причем меняется с частотой 1000 в секунду, регулировка происходит мгновенно. Реакция системы занимает одну миллисекунду. Нет ни двигателей, ни соленоидов, ни клапанов. Такой магнитной демпфер проще классических, но не дешевле. Виной тому высокая стоимость устойчивых к расслоению магнитно-реологических жидкостей с широким температурным диапазоном работы. Возможно будущее за подобной схемой. Упрощается сам демпфер и подвеска. Исключается необходимость в стабилизации поперечной устойчивости. Появляются новые возможности контроля жесткости подвески. [11]

Практическое применение вязких демпферов в качестве сейсмо- и виброизоляторов в строительной практике определяется концом шестидесятых годов двадцатого столетия. Конструктивно это были двухтрубные демпфера. Отличие, от ранее аналогично рассмотренных вязких двухтрубных демпферов, определяется большой массой, большими габаритами строительных объектов и пространственным характером сейсмического воздействия. Вследствие чего, демпфер характеризуется большим размером рабочего сечения и использованием ряда амортизирующих пружин. Именно такое конструктивное решение демпфера системы GERB было предложено немецкими специалистами (ФРГ) [1, 13-14].

Изменение сферы применения вязкого демпфера привело к определенному усложнению его эксплуатационных условий:

Так, из-за длительного срока эксплуатации строительных объектов, требуются специальные

меры защиты штока от паров воды, оседания пыли и попадания грязи, так как отказ от отмеченных мероприятий может привести к непредсказуемому аварийному выходу из строя деталей демпфера при сейсмическом воздействии.

Затем, из-за того, что органические материалы со временем стареют, они изменяют свои физические и химические свойства. В частности результате чего, техническое масло со временем загустевает, резина уплотнителя становится жесткой и пористой. Одним словом, эксплуатация вязких демпферов требует контроля системы и ее элементов, а так же замены вышедших из строя элементов демпфера, т.е. проведения ремонтно-профилактических работ.

Как видим, эксплуатация сейсмозащиты на базе вязких демпферов требует специально оборудования и квалифицированного персонала.

Однако чтобы снять демпфер, который находится под нагрузкой (собственным весом объекта), дело непростое – потребуется поднятие домкратами защищаемого объекта. На время демонтажа и переустановки демпфера строительная система будет находится в нерабочем состоянии, что негативно скажется на надежности сейсмозащиты. Дело в том, что случайный характер сейсмического воздействия подразумевает любое время его проявления. И даже временное изменение характера работы сейсмозащиты, на практике означает изменение схемы работы строительной системы, что не допустимо...

Из-за больших смещений и пространственной работы сейсмического воздействия, штоки и цилиндры демпфера испытывают большие деформации, поэтому обеспечить их бездефектную работу в процессе эксплуатации довольно сложно, в то время как искривление штока или замятие цилиндров ведет к выходу из строя демпфера.

Для обеспечения работы демпфера не только в вертикальной но и в горизонтальной плоскости, как того требует пространственный характер сейсмического воздействия, потребует использование газового подпора, что усложняет изготовление и эксплуатацию демпфера.

И, наконец, чем выше величина вязкого трения, тем эффективнее механическая энергия преобразуется в тепловую, но тем большая величина сейсмического воздействия будет передаваться сейсмоизолируемой части строительного объекта.

Высокая стоимость и выше отмеченные недостатки, связанные с конструктивными особенностями и эксплуатацией демпфера в качестве системы активной сейсмозащиты, отрицательно сказываются на широком применении данных систем в строительной области. Поэтому более перспективным вариантом использования отмечаемых вязких демпферов в строительной практике является использование их в качестве вспомогательных и сопутствующих систем стабилизации и рассеивания механической энергии, например, в качестве демпфирующих элементов маятникового гасителя колебаний.

Изменение сферы использования вязких демпферов положительно сказывается на экономических и эксплуатационных свойствах системы. Дело в том, что в повседневной жизни негативные динамические и ветровые воздействия наблюдаются более часто, чем сейсмическое. Перенос системы с уровня подвала или первого этажа на уровень чердака или верхние этажи, обеспечивает более простой доступ к вязким демпферам, а значит, упрощается проведение ремонтно-профилактических работ и эксплуатация демпфера. С другой стороны, возрастает рентабельность и экономическая эффективность вязких демпферов.

Заметим, что повышенная конструктивная податливость и подвижность большинства активных систем сейсмозащиты, ведет к тому, что по своей силе воздействия, ветровое воздействия преобладает над сейсмическим. Поэтому нейтрализация негативной составляющей ветрового воздействия становится важным условием общей устойчивости строительной системы и одним из

элементов эффективной и надежной сейсмозащиты.

В качестве конкретных примеров использования сейсмо- и виброизоляторов можно отметить применение вязких демпфера системы GERB при сейсмозащите девяти дизельных генераторов общей массой 1000 т на острове Тайвань, на атомной электростанции в г. Мехико (Мексика). Аналогичные системы использовались для установки аварийных дизельных генераторов в здании госпиталя г. Веллингтон (Новая Зеландия) и на горно-обогатительном предприятии в ФРГ. [13-14]

Более простой вариант вязкого демпфера был предложен специалистами ЦНИИСК им. Кучеренко.

Состоит демпфер двух цилиндров: неподвижного цилиндрического корпуса (статора), закрепляемого на поддерживающей конструкции и подвижного поршня (вибратора), закрепленного на подпружиненном основании. Устанавливаются корпус и поршень соосно с 5 см. зазором, заполняемого вязкой жидкостью.

Демпфирующая жидкость состоит из двух компонентов: полиметилсилоновой жидкости, имеющей большую вязкость, но малый удельный вес, и воды, наоборот, имеющей малую вязкость, но больший удельный вес. При этом полиметилсилоновая жидкость располагается в зазоре, а вода - между днищами статора и вибратора. Использование отмечаемого двухкомпонентного состава демпфирующей жидкости позволяет нам обеспечить максимальную величину вертикальной силы вязкого трения и лучшие условия теплоотдачи. [1, 15]

Отметим, что полиметилсилоновые жидкости отличаются от минеральных масел широким диапазоном рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $200^{\circ}\text{C}$ , а также малой зависимостью вязкости и сжимаемости от температуры. [17]

Для полиметилсилоновых жидкостей характерны: химическая инертность, низкое натяжение – способность подавлять пенообразование, водоотталкивающие и диэлектрические свойства. Кроме того, они отличаются низкой летучестью, стабильностью против срезающих нагрузок, радиационной стойкостью, высокой устойчивостью к окислительному и термическому разложению. Жидкости взрывобезопасны, трудногорючи, экологически безопасны. Прозрачны, не имеют вкуса и запаха, не вызывают психологической реакции у человека, стабильны при хранении и использовании. Недостатком этих жидкостей является большая их стоимость. [17-18]

При этом предполагается, что рассеивание энергии происходит как при движении поршня как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях движения. Считается, что демпфирующая сила возникает в случае относительного движения между концами демпфера. [1, 15]

Несомненно, что в отсутствии калибровочных отверстий и регулирующих клапанов, система конструктивно проще, а значит, и более экономична. Другое достоинство системы заключается в наличии метода ее расчета. [15-16]

Среди недостатков вязких демпферов следует отметить строгую вертикальную установку демпфера. Связано это с тем, что при его наклонной установке уменьшается величина конструктивного зазора между стенками статора и вибратора. Вследствие чего, падает эффективность работы самого демпфера.

Затем, с учетом конструктивного люфта в 5 см. между стенками статора и вибратора, большой инерционной массы и скорости изменения сейсмического воздействия, соприкосновение статора и вибратора будет сопровождаться силовым ударом. В свою очередь, для нейтрализации негативных последствий силового удара, требует дополнительного армирования, как статора, так и вибратора. Что ведет к удорожанию сейсмозащиты.

Наличие воды, чтобы вода не замерзала при низких температурах, для стран с холодным и умеренным климатом, требуется утепление демпфирующего устройства. Что также ведет к

удорожанию системы.

За состоянием системы в процессе эксплуатации требуется постоянный контроль, что, в свою очередь, требует наличия обслуживающего персонала.

Использование отмечаемых демпферов в качестве сейсмозащиты, требует их установки в уровне подвала или первого этажа. Отсюда те же проблемы, что и у отмечаемого выше варианта:

Малая эффективность демпфера.

Сложность доступа к элементам демпфера и сложность проведения ремонтно-профилактических работ в процессе эксплуатации.

Понимая это, с самого начала, авторы идеи предложили использовать ее в качестве гасителя ветрового воздействия. Для чего система устанавливается в уровне чердака.

Кроме этого, в связи с ограниченностью кольцевого зазора демпфера и необходимостью обеспечения его работы при амплитудах колебаниях демпфера порядка 10 см, предусмотрена система рычагов с соотношением плеч 3:1. [1]

При этом блоки вязких демпферов через рычаги соединения с инерционной массой, составленной из железобетонных блоков. [1]

Амортизирующие пружины размещаются горизонтально между железобетонными упорами и сборными железобетонными элементами, представляющими собой инерционную массу. Как и в предыдущем случае, изменение сферы использования демпфера, увеличивает эффективность системы и, одновременно с этим, упрощает ее обслуживание в процессе эксплуатации.

Схожее устройство разработано Камчатскгражданпроектом совместно и ЦИИСК им. Кучеренко. Отличие от выше рассмотренного технического решения, здесь, в связи с одинаковой жесткостью несущих конструкций в продольном и поперечном направлении, блок гасителя решен круглым в плане, а его раскрепление принято с помощью радиально ориентированных пружин. Однако ориентация и расположение пружин не является принципиально важными элементами, дающими новации дополнительных преимуществ, обусловлено конструктивным решением.

## 1.4. Активная сейсмозащита на основе программного изменения силового воздействия

### 1.4.1. Адаптивные системы

#### 1.4.1.1. С выключающимися связями

В сейсмостойком строительстве адаптивные системы – это самонастраивающиеся системы, которые сохраняют работоспособность и обеспечивают оптимальные состояния системы, в условиях непредвиденного изменения объекта посредством смены алгоритма своего функционирования; это системы с автоматическим изменением (самонастройкой) характеристик системы, направленных на повышение или сохранение ее эффективности в изменяющихся условиях внешней среды. [1-5].

Обычно, по конструктивной реализации основной идеи адаптивные системы подразделяются на два направления: **выключающиеся и включающиеся связи.**

Как правило, «выключающиеся» связи представляют собой механически саморазрушающиеся элементы и конструкции жесткости, которые после превышения определенного порогового усилия в конструкциях (Рис. 1.16, а-в) или сопряжениях (Рис. 1.16, г-д) разрушаются (выключаются) и, тем самым, переводят динамическую систему в иной режим работы. В результате увеличения периодов собственных колебаний строительного объекта происходит его отстройка от максимальных амплитуд колебаний грунта и усилия в конструкциях резко снижаются, тем самым, предотвращая поврежденные сейсмоизолируемого объекта. Вновь в работу связь вступает только после ее восстановления или замены. [1-5].

Следует особо выделить, что выключающиеся связи - это вспомогательные системы и элементы активной сейсмозащиты, отключение которых не влияет на прочностные характеристики и устойчивость основных несущих конструкций строительного объекта. [1-6].

Система с выключающимися связями применима в основном для зданий с жесткой конструктивной схемой, имеющих гибкий либо кинематически подвижный первый этаж. Это связано с тем, что необходимым условием эффективной работы этой системы является значительное снижение жесткости несущих конструкций здания в конце землетрясения в сравнении с начальной жесткостью системы до землетрясения. К сожалению, большая подвижность кинематических систем сейсмозащиты требует специальных мер по обеспечению устойчивости сейсмозащищаемого строения от опрокидывания и сползания с фундамента, например, посредством дополнительного введения в динамическую систему специальных ограничителей или упоров-ограничителей («включающиеся» связи), что усложняет и повышает стоимость сейсмозащиты. [1-6]

В качестве выключающихся связей применяются как специальные резервные элементы, так и отдельные несущие конструкции, в частности могут использоваться связевые панели.

Именно такую форму реализации идеи имеет техническое решение по а.с. СССР № 371335. Здесь с целью повышение сейсмостойкости здания, оно представляет собой многоэтажную пространственную жесткую конструкцию 1 верхних этажей, опертую на гибкие в горизонтальном направлении стойки 2 нижнего этажа, между которыми закреплены саморазрушающиеся связевые панели 3 (Рис.1.16, а). При этом целостность связевых панелей обеспечивает устойчивость кинематической системы от ветровых и динамических подвижек. Однако, по мере возрастания силового воздействия до достижения им порогового уровня, заданного проектом, связевые панели разрушаются (выключаются), что автоматически переводит всю кинематическую систему в режим основной, задействованной проектом сейсмозащиты, которая и является определяющей

эффективность и надежность сейсмозащиты объекта в целом.

Экспериментальные исследования [5, 7, 9-11] работы выключающихся связевых элементов выявили, что их выключение происходит при проектной нагрузке. При этом в течение небольшого промежутка времени динамическая нагрузка в резонансном режиме работы системы, на сейсмозащищаемые объекты (фрагменты) уменьшалась более чем в три раза. В момент выключения связевых элементов не отмечалось приращения скорости и амплитуды колебаний системы. Жесткость динамической системы после выключения связевых элементов снижается, частоты колебаний падают с 4.25 до 0.89 Гц, т.е. жесткость снижается более чем в 20 раз. Вследствие чего, амплитуды и ускорения системы значительно «падают» и никаких дополнительных импульсных воздействий не возникает. [4-6, 10]

К сожалению, конструктивное саморазрушение (выключение) связевых элементов проектируется исходя из прямолинейной, поступательной подвижки строительного объекта. В то время как анализ последствий разрушительных землетрясений показывает, что наряду с поступательными смещениями объекта, имеют место еще и вращательные колебания. Следует отметить, что вообще-то крутильным колебаниям подвержены все, даже относительно точечные и симметричные строительные объекты. Связано это с целым рядом причин, например:

из-за подхода сейсмической волны под углом к строению;

из-за несовпадения между собой направления ветрового и сейсмического воздействия; из-за наличия в строение лестничных клеток;

из-за несимметричного расположения стен, перегородок, дверных и оконных проемов; из-за необходимости прокладки инженерных сетей и коммуникаций;

из-за реально имеющего места неравномерного нагружения постоянной и временной нагрузкой узлов и элементов строения и т.д. [6, 8, 12-13]

Наличие эксцентриситета между центром масс и центром жесткости ведет к закручиванию строительного объекта. Максимальные инерционные силы возникают в конструкциях, расположенных со стороны, противоположной центру жесткости. Особенно это неблагоприятно сказывается на сложных по конфигурации и протяженных в плане зданиях и сооружениях. [6, 8, 12-13]

Негативно закручивание сказывается и на возможности одновременного выключения (разрушения) связевых элементов. В результате неравномерность выключения связевых элементов ведет к еще большему возрастанию эксцентриситета между центром масс и центром жесткости. Одновременно это ведет к еще большему закручиванию строительного объекта относительно его вертикальной оси. И, как следствие, к режиму работы не предусмотренному проектом, что недопустимо. К сожалению, задача анализа сейсмических систем с последовательным выключением связей жесткости и изменяющимися в процессе воздействия динамическими характеристиками сооружения и эксцентриситетом громоздка и сложна. Отсюда вполне закономерный вывод – применение и использование адаптивных систем на базе выключающихся связей требует высокой культуры их проектирования, строительства и эксплуатации. Правда имеющийся опыт строительства, в определенной мере, облегчает задачу практического использования выключающихся связевых систем в строительной практике. [6]



Кроме этого, негативным обстоятельством для выключающихся связей является необходимость, после их саморазрушения (выключения), восстановления связевых элементов. Дело в том, что в некоторых случаях в процессе землетрясения в его заключительной стадии имеет место снижения доминантной частоты в связи с чем, имеется возможность вторичного совпадения собственной частоты строения с доминантной частотой землетрясения, что может привести к потере несущей способности конструкций строительного объекта. Избежать этого можно посредством одновременного применения выключающихся и включающихся связей, например, на базе провисающих растяжек или жестких упоров-ограничителей горизонтальных перемещений. [1-3]

И, наконец, афтершоки, которые нередко сопровождают основное землетрясение, и интенсивность которых иногда приближается к интенсивности основного землетрясения. Так в первые месяцы после землетрясения в Скопле (1963 г) произошло около 300 повторных толчков, из которых 10 силой более 5 баллов. При этом первые толчки следовали через 16, 19 и 20 минут после главного толчка, а затем повторялись с увеличением временного интервала [5]. При этом многочисленные обвалы кирпичных зданий, поврежденных уже основным толчком в Скопле, произошли вследствие действия афтершоков. Понятно, что короткое время между основным землетрясением и последующими афтершоками исключает возможность восстановления связевых элементов. Но и в случае существенного разрыва по времени, сразу же восстановить саморазрушенные связевые элементы не представляется возможным так основные силы сообщества, прежде всего, направляются на разбор завалов и спасение пострадавших людей, на восстановление общей инженерной инфраструктуры: инженерных сетей и коммуникаций общетерриториального назначения и только затем на устранение локальных повреждений. В результате получается, что определенное время сейсмозащита будет работать самостоятельно без выключающихся связей, т.е. реагировать на все ветровые и динамические воздействия и тем самым раскачивать сейсмозащищаемый объект. С одной стороны, это неизбежно внесет дискомфорт для людей находящихся в строение. С другой – это так же связано с возможностью разрыва инженерных сетей и коммуникаций, проходящих внутри строения и соединенных с общей системой инженерных сетей. Чаще всего это обычные инженерные системы (коммуникации), конструкция которых не рассчитана на значительные смещения кинематического фундамента относительно жесткой, сейсмоизолируемой части строения. Что является нежелательным по экономическим соображениям и небезопасно, так как, например, утечка газа из разрушенного газопровода, может взорвать и сжечь строение, а разрыв силовых кабелей к поражению электротоком. В общем, нужны связевые элементы, которые самостоятельно выключались бы при сильных сейсмических воздействиях и включались бы по окончании землетрясения (устройство типа реле). Но это перспектива будущего развития системы. [5, 7].

Учитывая, что в качестве сил разрушения связи могут быть задействованы не только силы хрупкого разрушения, но и силы разрыва, отрыва, среза и т.д., то заслуживают внимания предложения по изготовлению связевых элементов из металла.

Простейшим вариантом такого решения могут быть металлические растяжки 6, которые устанавливаются под углом, соединяя сейсмоизолируемую часть 1 строительного объекта с его фундаментом 4 (Рис. 1.16, б). В обычных условиях такое решение обеспечивает динамической системе необходимую устойчивость (жесткость), а после разрыва под действием сейсмического воздействия - необходимую подвижность. При этом однородные упругопластические свойства металла упрощают конструирование, изготовление и монтаж таких выключающихся связей.

Среди перспективных вариантов развития идеи привлекает внимания новация,

обеспечивающая выключение не всего выключающегося элемента, а лишь определенных ее деталей, фрагментов (элементов), располагаемых во внутренних полостях или отверстиях связи и со-единяющих основное «тело» выключающейся связи с основной несущей конструкцией здания (Рис. 1.16, в-д). При этом основной элемент связи можно изготовить в виде диафрагмы жесткости (бетонной панели или кирпичной стены), бетонной или металлической декоративной решетки арки, треугольного элемента типа фермы с жесткими узлами, элемента архитектурного оформления здания и т.п. А саморазрушающийся, соединительный элемент выполнить в виде ряда заклепок, болтового соединения 8 (Рис. 1.16, в) или бетонной шпонки 9 (Рис. 1.16, д), стопора или заклепки, изготовленных из стали, чугуна или мягких металлов (например, из свинца, алюминия, дюралюминия) и т.п. По достижению значений выше пороговых усилий вспомогательный элемент 8 или 9 выключающейся связи разрушается. После чего сейсмоизолируемый объект 1 работает по схеме основной сейсмозащиты. [1-4,].

Такой подход с одной стороны обеспечивает простоту замены вышедшего из строя вспомогательного, саморазрушающегося 8 или 9 (Рис. 1.16, в-д) элемента (детали) выключающейся связи, с другой – сокращает производственные издержки, связанные с необходимостью восстановления разрушенных после сильных землетрясений связей. И, наконец, основной элемент выключающейся связи может быть использован как естественный упор-ограничитель для удержания строительной системы в устойчивом положении в процессе ее движения при сейсмических подвижках сейсмозащищаемого объекта после выключения связей.

Испытания отмечаемой новации, проводимые в ЦНИИСК им. Кучеренко и ряде других организаций подтвердили ее реализуемость и работоспособность. В частности в ЦНИИСК и ЛенЗНИИЭП разработана и экспериментально исследована на моделях конструкция выключающегося элемента, представляющего собой две стальные пластины, соединенные между собой электрозаклепками. Разрушение соединения предусматривается по заклепкам при специально регулируемом зазоре между рамой каркаса и ограничителем (упором). Аналогичная конструкция выключающихся связей характерна для большинства разработанных проектных решений. [2].

Кроме этого в ЛенЗНИИЭП совместно с ЦНИИСК была предложена конструкция крупнопанельных домов высотой до девяти этажей с сухими стыками, в которых выключение связей происходит за счет продергивания в специальных каналах стержней арматуры, а также предусматривается возможность раскрытия горизонтальных стыков [2, 18-19].

Интересное решение выключающейся связи представляет собой и разработка специалистов ФРГ по защите зданий и сооружений на резинометаллических опорах используемая ими для защиты строительного объекта от вредных ветровых воздействий. При этом сейсмоизолирующая система выполняется из жесткого стального разборного цилиндрического кожуха 10 и 11 (Рис. 1.16, е), внутри которого помещается кольцевая слоистая резинометаллическая опора 14, стальной стабилизирующий стержень 15 и стальные стабилизирующие кольца 16. Цилиндрический кожух состоит из двух половин (нижней 10 и верхней части 11), между которыми установлены стальные клинья 12, положение которых фиксируется стальным запорным кольцом 13, затянутым болтовым соединением 17. Кожух при обычных нагрузках на здание выполняет функцию жесткой опоры, заанкеренной в фундамент и конструкции наземной части здания. Эта опора передает на фундамент нагрузки от собственного веса здания и от ветрового воздействия. При сейсмическом воздействии болтовое соединение 17 запорного кольца 13 ослабевает или разрушается, в результате чего клинья 12 из кожуха выдвигаются (выключается жесткая связь), верхняя часть кожуха 10 опускается и опирается на слоистую опору (в работу «включается» слоистая

резинометаллическая опора 14). [2, 20].

В заключении рассмотрим выключающуюся связь, организованную на использовании сил трения. Так в Севастополе в начале 70-х годов была реализована техническая идея по а.с. № 545737, где, наряду с предложением активной сейсмозащиты на базе сфероидов 19 (Рис. 1.16, ж), была рассмотрена и идея фрикционной выключающейся связи. Основная суть идеи сводится к тому, что фрикционная система выполняется в виде ряда железобетонных бункеров 21, заполненных сыпучим материалом (песком) 22. Стены 21 всех бункер в верхней части жестко прикреплен к перекрытию 20, а в нижней части установлен с зазором относительно основания подвала. Кроме этого в перекрытии 20 над каждым бункером организованы загрузочные люки. [2, 21].

При этом активное фрикционное взаимодействие в системе обеспечивается посредством трения смещаемой засыпки 22 по основанию. В обычных условиях силы трения обеспечивают устойчивость сейсмозащищаемой части строительного объекта на ветровое, импульсное ветровое и паразитные динамические воздействия. Однако при превышении заданного порогового усилия, рассчитанного исходя из интересующей нас силы сейсмического воздействия, силы трения преодолеваются и в работу «включается» основная активная сейсмозащита, в частности, сейсмозащита на базе сфероидов 19.

Следует особо выделить, что, в отличие саморазрушаемых элементов выключающихся связей, рассматриваемая фрикционная система является самовосстанавливающейся и способной самостоятельно определенное время поддерживать свою работоспособность.

В целом, работоспособность фрикционной системы зависит от объема засыпки и степени истечения засыпки из бункеров. В обычных условиях истечение засыпки определяется величиной зазора между бункером и основание и углом внутреннего трения засыпки. После истечения некоторой части засыпки за пределы бункера, фрикционная система приходит в энергетическое равновесие, которое сохраняется до тех пор, пока фрикционная система не придет в движение. При динамических подвижках на условия истечения дополнительных накладываются еще амплитуды смещения бункеров и условия вибрационного изменения параметров фрикционного взаимодействия (или угла внутреннего трения засыпки). Если учесть, что и эти параметры конечны, то через некоторое время обязательно наступит энергетическое равновесие и, как следствие, потери засыпки вновь прекратятся. Понятно, что со временем засыпка будет «слеживаться» и, в какой-то мере, менять свои свойства. Однако, в целом, система будет работать. С запасом заполнив бункера засыпкой, мы тем самым и обеспечиваем фрикционной системе возможность ее многократного использования. [2, 21].

Достоинством выключающихся связевых элементов являются то, что:

1. Они позволяют инженеру целенаправленно изменять характер и условия работы строительной системы при сильных сейсмических воздействиях и тем самым позволяют «уводить» динамическую систему от резонансных явлений в случае совпадения доминантного периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения.

2. Они позволяют при применении кинематически подвижных систем сейсмозащиты компенсировать негативное влияние динамических подвижек, вызываемых импульсным ветровым воздействием, на строения и людей, в них находящихся.

3. Это относительно дешевые, простые в изготовлении, установки и эксплуатации элементы активной сейсмозащиты;

4. Это хорошо теоретически и экспериментально проработанные конструктивные элементы активной сейсмозащиты. В частности, начиная с 60 годов плановые исследования

адаптивных систем на базе выключающихся связей проводились в ЦНИИСКе им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсеванова, ЛенЗНИИЭП, ТблilЗНИИЭП, Фрунзегорпроект, Таджикгипрострой, КрымНИИпроект и др. организациях. [1-5]

Их основными недостатками являются:

- необходимость восстановления связи или ее саморазрушающихся вспомогательных элементов после срабатывания связи;
- требование высокой культуры проектирования, строительства и эксплуатации.

**В целом, адаптивные системы на базе выключающихся связей заслуживают внимания со стороны специалистов и могут быть рекомендованы к использованию в строительной практике в качестве вспомогательных элементов жесткости в составе других активных систем сейсмозащиты для обеспечения устойчивости строительному объекту и нейтрализации вредных ветровых и динамических воздействий.**

#### **1.4.1.2. С выключающимися связями**

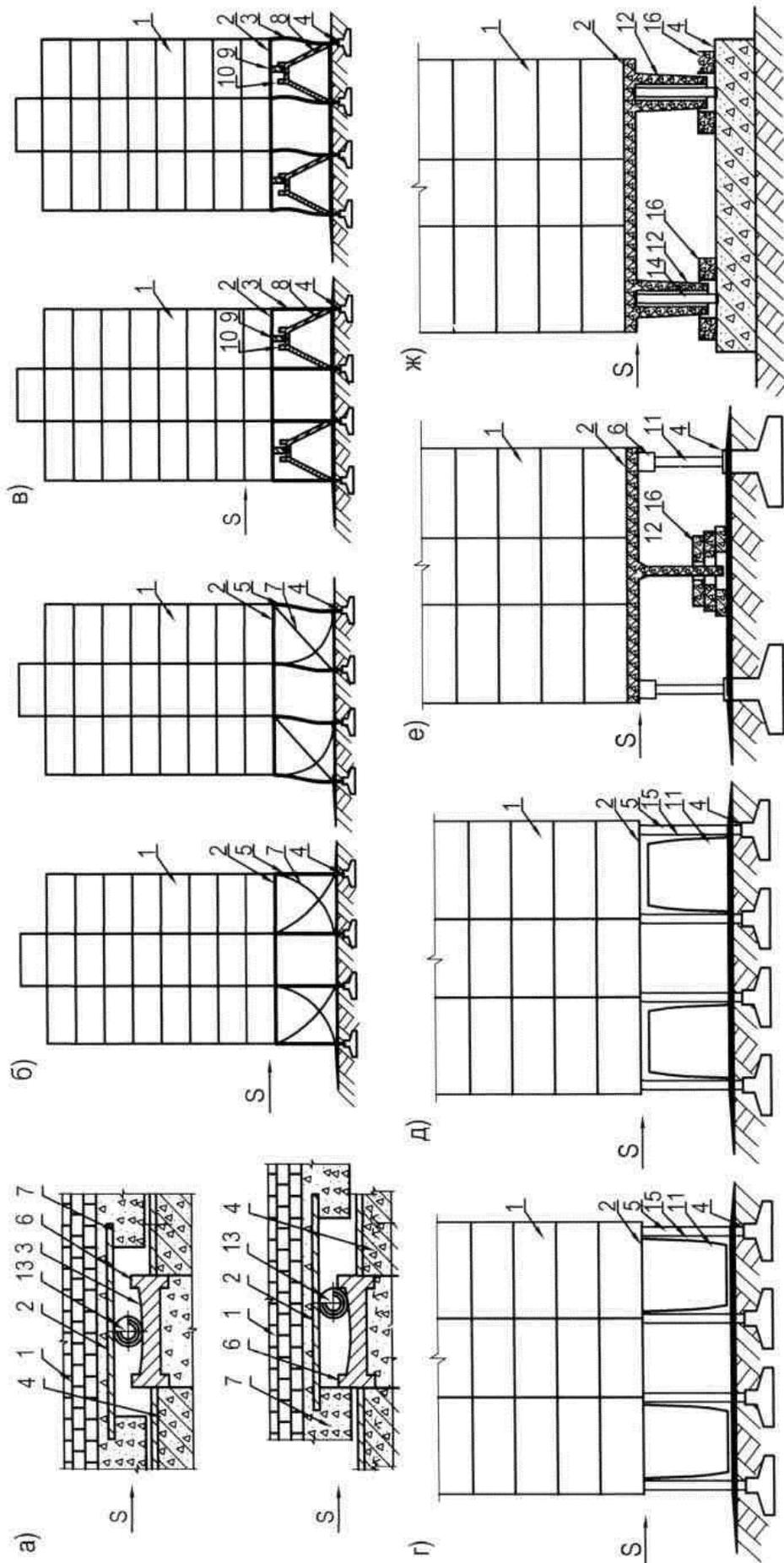
**Включающиеся связи** – это другое направление развития адаптивных систем, в котором автоматическое изменение (самоастройка) характеристик динамической системы, направленных на повышение или сохранение ее эффективности в изменяющихся условиях внешней среды, обеспечивается посредством силового импульса в виде «рывка» или «удара». [1, 5-6, 8].

Включающиеся связи конструктивно довольно просты. В качестве включающихся связей могут быть использованы жесткие упоры-ограничители, упругие связи, жесткие панели и провисающие растяжки [1, 5-6, 8]. Конструкционным материалом изготовления, которых обычно выступает металл, железобетон, реже другие материалы, в частности, тяжи и растяжки могут изготавливаться из углепластиковых или стеклопластиковых канатов, а упоры-ограничители - в виде массивных бетонных, каменных или кирпичных блоков.

Проиллюстрируем сказанное на примере в активной системе сейсмозащиты на базе шаровых опор. Состоит строительная система из сейсмоизолируемой части 1, шаровых опор 13 и фундамента 4 (Рис. 1.17, а). Кроме этого, дополнительно, чтобы обеспечить устойчивость динамической системе при импульсных ветровых и горизонтальных динамических воздействиях, она снабжена рядом упоров-ограничителей 6 и 7, установленных с конструктивным зазором по отношению друг к другу и жестко закрепленных соответственно к верхнему 2 и нижнему 3 опорному поясу.

При динамических (сейсмических) смещениях сейсмоизолируемой части 1 относительно ее фундамента 4, превышающих величину конструктивных зазоров, происходит соударение упоров 6 и 7, что порождает силовой импульс, в результате которого происходит силовая перенастройка строительной системы. Последующие динамические импульсы, приводящие к подвижке динамическую систему, не меняют общего принципиального характера работы системы. Конструктивно включающиеся связи являются вспомогательными элементами (системами) активной сейсмозащиты, основным назначением которых является обеспечение общей устойчивости строительной системы при динамических воздействиях в условиях кинематически подвижного фундамента. В целом, это самостоятельные элементы, которые лишь косвенно, опосредовано, влияют на прочностные характеристики строительной системы. И, тем не менее, это важные конструктивные элементы так, как их выход из строя может негативно сказаться на общей устойчивости строительного объекта.

Кроме этого, так как механический контакт смещаемых частей строительного объекта с элементами связи сопровождается силовым импульсом, вызывающим 1 быструю (мгновенную)



**Рис. 1.17. Конструктивные примеры систем и элементы адаптивных систем на базе "включающихся" связей:**

а) по патенту Франции № 2046022; система: б) с металлическими тяжами, в) с составными упорами-ограничителями

(с разрушаемыми фрагментами); по а.с. СССР: г) и д) № 541958; е) № 577287; ж) № 723083 (М. кл. E04 h 9/02);

1 - сейсмозащитаемый строительный объект, железобетонные; 2 - верхний (антисейсмический) и 3 - нижний опорные пояса, 4 - фундамент, 5 - гибкие стойки нижнего этажа, 6 - стакан, 7 - металлические растяжки (тяги, тросы), 8 - решетчатая рама, 9 - фундамент, 10 - выступы верхнего и 11 - панели, 12 - консоли, 13 - шаровая опора, 14 - кинематическая стойка со сферическим торцами, 15 - упругий материал, 16 - гасящая шайба (фрикционный элемент).

перестройку силовых факторов динамической системы, то в строительной практике включающиеся связи используются еще и в качестве адаптивных систем для целенаправленного снижения негативного влияния сейсмической нагрузки на конструкции строительной системы.

В отличие от систем с выключающимися связями, в системах с включающимися связями не происходит разрушения связей, а значит, и нет необходимости их восстановления после землетрясения.

Здания с включающимися связями проектируются таким образом, чтобы оно имело низкую частоту собственных колебаний. При землетрясении в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций строительного объекта происходит включение связей. Что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению «мгновенной» частоты собственных колебаний здания, в результате чего строительный объект «уходит» от опасного для него резонансного режима колебаний. Для многоэтажных каркасных зданий условие низкой частоты собственных колебаний системы выполняется автоматически. Для зданий малой этажности с жесткой конструктивной схемой приходится применять гибкий первый этаж. [1, 6].

Осуществлять сейсмозащиту зданий с помощью включающихся связей целесообразно в районах, где возможно возникновение землетрясений как высокочастотных, так как и низкочастотных. Достоинством системы с включающимися связями заключается в том, что она работает с полной нагрузкой лишь при землетрясениях, имеющих значительное ускорение на низких частотах, а такие землетрясения бывают довольно редко. При достаточно часто возникающих высокочастотных землетрясениях система с включающимися связями сохраняет все преимущества задействованных в ней основных активных систем сейсмоизоляции. [1, 6].

Конструктивно включающиеся связи в виде ограничителей механических перемещений организованные по принципу «рывка» представляют собой систему растяжек (тяжей) 7 установленных под углом с провисанием и соединяющих сейсмоизолируемую часть 1 строительного объекта с его 4 фундаментом 4 (Рис. 1.17, б). По мере возрастания силового воздействия, преодолеваются силы трения и строительная система 1, за счет основной системы активной сейсмозащиты 5, приходит в движение. В результате чего одни растяжки 7 ограничительной системы начнут натягиваться, а другие наоборот - провисать. При полной выборке провисания в системе натягиваемых растяжек, в зависимости от скорости смещения подвижных частей динамической системы, происходит либо ограничение последующего смещения строительной системы, либо «рывок», изменяющий направление смещения сейсмоизолируемой части строительного объекта. В обоих случаях имеет место быстрое изменение системы сложившихся до этого сил. Последующие сейсмические импульсы, изменяя параметры силовых факторов динамической системы, изменяют направление движения подвижных частей строительной системы и, как следствие, изменяют величину натяжения и провисания в ограничительной системе растяжек, оставляют представленный процесс работы включающихся связей по принципу «рывка» без изменения.

Обычно растяжки 7 ограничительной системы изготавливаются из металла, что обеспечивает растяжкам высокие прочностные свойства. Одновременно с этим, однородные упругопластические свойства металла упрощают конструирование, изготовление и монтаж таких «выключающихся» связей. А конструктивная простота связей обеспечивает им простоту эксплуатации, которая сводится к защите растяжек от случайных механических повреждений и к систематическому наблюдению за их механическим состоянием. При необходимости, осуществляются мероприятия по защите от ржавчины и восстановление случайно поврежденных растяжек.

Наиболее ответственными элементами, в рассматриваемой системе включающихся связей, являются анкера заделки и узлы соединения растяжек с анкерами. Однако, учитывая широкое применение растяжек и анкеров в строительной практике, это не является препятствием в применении растяжек в качестве включающихся связей.

Для иллюстрации работы и конструктивных возможностей включающихся связей, работающих по принципу «удара», рассмотрим вариант связи, состоящий из ряда металлических решетчатых рам 8 (Рис. 1.17, в), которые устанавливаются перпендикулярно друг к другу между элементами основной активной сейсмозащиты, и жестко закрепляются к фундаменту 4 строительного объекта. В свою очередь, каждая решетчатая рама 8 по верху снабжена тремя выступами-ограничителями: два выступа-ограничителя 10 организуются непосредственно при изготовлении рамы, а один 9 - жестко заделывается в теле антисейсмического пояса (перекрытия) 2 непосредственно над местом установки рамы 8 (Рис. 1.17, в). Как равнозначный вариант реализации идеи, возможна зеркальная установка упоров-ограничителей, при которой два упора ограничителя 10 жестко крепятся к теле антисейсмическим поясам 2, а один 9 жестко крепится к телу рамы 8. В обоих случаях реализуется один и тот же принцип конструирования и работы механической системы. Сдвоенные выступы-ограничители 10 устанавливаются с просветом, т.е. отстоят друг от друга на заданном проектом расстоянии. Одинарный выступ 9 вводится с конструктивными зазорами в просвет между двумя упорами-ограничителями, и, для обеспечения возможности свободного горизонтального смещения элементам активной сейсмозащиты, с зазором по торцу, организуемым между верхом рамы 8 и антисейсмическим поясом 9.

При сейсмическом смещении сейсмоизолируемой части 1 строительного объекта относительно своего 4 фундамента, происходит смещение выступов-ограничителей 9 и 10 между собой (Рис. 1.17, в). При перемещениях, превышающих параметры конструктивных зазоров, происходит соударение выступов-ограничителей и, как следствие, осуществляется автоматическая силовая перестройка строительной системы.

Конструктивная особенность рассматриваемой включающейся связи заключается в узкой направленности связи: так при настройке срабатывания системы на 8 баллов она не будет реагировать на сейсмические воздействия в 7 и 6 баллов. В определенной мере, эффективность и рабочие параметры динамической системы определяются двумя факторами: выбором основной активной сейсмозащиты и регулируя зазор между упорами ограничителями.

Кроме этого, конструктивная особенность включающейся связи не позволяет ей положительно реагировать на вертикальную составляющую сейсмическую сейсмического воздействия и, в тоже время, она нежелательно реагирует на ветровые и динамические воздействия, превышающие силы трения либо силы упругости в основной активной системе сейсмозащиты. Эффективность и надежность систем с включающимися связями существенно повышается в случае ее совместного применения с системами выключающимися связями [1, 6-7].

Представленный принцип построения и работы включающихся связей присутствует в большинстве систем данного типа.

Так в конструктивной системе включающейся связи по техническому решению а.с. СССР

№ 541958 в качестве основной кинематически подвижной системы использована активная система сейсмозащиты с «гибкой нижней частью». В результате чего строительная система представляет собой многоэтажное здание 1 (Рис. 1.17, г), с жесткими верхними этажами уставленное на гибкие в горизонтальном направлении стойки 5 нижнего этажа, между которыми располагаются включающиеся связи. При этом выполняются включающиеся связи в виде ряда перпендикулярно установленных между собой железобетонных связевых панелей 11, каждая из

кото-рых жестко прикреплена с одной из ее сторон к антисейсмическому поясу 2 или к фундаменту 4, а по остальным сторонам отделена зазором, увеличивающимся к незакрепленной стороне панели.

При сейсмических смещениях, превышающим конструктивную величину зазора, происходит динамический контакт связевых панелей 11 с гибкими стойками 5 и наблюдается ранее представленная схема работы выключающихся связей.

Заслуживает внимания конструктивный подход, при котором элементы включающейся связи объединяются либо встраиваются в конструктивные элементы основной строительной системы. Это упрощает и делает систему включающих связей компактной.

Рассмотрим сказанное на конкретном примере, в котором, как во всех системах включающихся связей, строительная система состоит из сейсмоизолированной части 1 (Рис. 1.17, д), активной сейсмозащиты 14 и фундамента 4. Конструктивное отличие связи от рассмотренных выше иллюстрирующих примеров в том, что в качестве активной сейсмозащиты в ней используется система на базе скользящих поясов, а непосредственно сама система включающихся связей представляет собой систему специальных выемок в железобетонных балках (стенах) фундамента 4, в которые вводятся с зазором упоры-ограничители 9, жестко связанные с антисейсмическим поясом 2.

Сейсмическое смещение приводит в движение строительную систему, что приводит к соударениям выступов 9 антисейсмического пояса 2 со стенками выемок фундаментных балок 4 и, как следствие, нужную нам перестройку силовой равнодействующей.

Следует особо отметить, что рассматриваемая конструкция системы включающихся связей, совместно с системой скользящих поясов, это на абстрактные идеи, а благодаря совместным научным исследованиям и конструкторским разработкам: ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсеванова, КБ по железобетону им. Якушева, Иркутскгражданпроекту, КазпромстройНИИпроекту, КазПСНИИП, Камчатскгражданпроекту, КрымНИИпроекту, ФПИ, Фрунзегорпро-екта, ТбилЗНИИЭП, ЦНИИпромзданий, ЦНИИЭП учебных зданий, конкретная конструктивная разработка, работоспособность и эффективность которой подтверждена экспериментальными и натурными исследованиями. [1-4, 6-8]

А также - что величина импульсного воздействия всегда больше статического воздействия. Причем величина импульсного воздействия на строительные конструкции определяется временем проявления и формой импульса. Своего максимального, двукратного значения динамический коэффициент достигает при прямоугольной форме импульса. Поэтому упоры-ограничители и все элементы строительной системы следует проектировать с учетом возможной перегрузки конструкций, узлов и элементов системы.

Отмечаемый недостаток усложняет и удорожает сейсмозащиту. Естественное стремление со стороны строителей снизить, уменьшить затраты, связанные с перегрузками строительной системы от импульсного характера сейсмического воздействия сводятся: к преобразованию формы импульса и к растягиванию времени срабатывания импульса.

Так в рассматриваемой выше новации по а.с. СССР № 541958 в зазоры между стойками и железобетонными связевыми панелями предлагается вводить пенополиуретан 14, а в комплексном варианте в конструктивные зазоры вводятся специальные резиновые элементы 17 и 18. Интересное решение по растягиванию времени включения в работу импульсного воздействия посредством включающейся связи предлагается по техническому решению а.с. СССР № 577284. Здесь, в качестве основной системы сейсмозащиты строительного объекта, задействована активная сейсмозащита с опорами в виде стоек со сферическими поверхностями концов 15. Сама

включающаяся связь выполняется в виде фрикционной системы, состоящей из консольной балки 12 и ряда установленных по оси один на другом кольцевых железобетонных элементов 20 и свободно лежащих на фундаменте 4. При этом масса и внутренний диаметр кольцевых элементов последовательно увеличиваются к основанию фундамента. Консольная балка 12 располагается во внутреннем пространстве кольцевых элементов 20. Одним концом она жестко крепится к железобетонному перекрытию сейсмоизолированной части строительного объекта, а другим, свободным концом, она взаимодействует с кольцевыми элементами.

При малых колебаниях строительной системы в динамическое взаимодействие между собой вступают консольная балка 12 и верхний кольцевой элемент 20, находящийся в практически непосредственном зацеплении с консольной балкой и свободно лежащем на нижерасположенном кольцевом элементе. Вследствие чего, в работу включаются силы сухого трения и силовому воздействию - начинает оказываться активное сопротивление. Увеличение амплитуды колебания приводит включению в работу следующего кольцевого элемента, установленного по отношению в консольной балке с проектным зазором, что увеличивает массу фрикционного взаимодействия и, как следствие, ведет к увеличению активного сопротивления динамическому воздействию. Процесс протекает до включения в работу всех элементов фрикционной системы.

Последовательное включение кольцевых элементов позволяет последовательно наращивать сопротивление горизонтальным колебаниям строительной системы при их нарастании. Что, с одной стороны позволяет снизить возрастание нагрузки из-за ее импульсного характера реализации и, одновременно с этим, это позволяет настраивать систему включающихся связей на нужный нам режим работы. Благодаря чему, включающаяся связь способна успешно работать как в условиях сильных землетрясений, так и противостоять динамическим и импульсным ветровым воздействиям. Это выгодно отличается систему от других аналогичных решений.

Техническое решение по а.с. № 723083 является последующим развитием включающихся связей с демпфирующим устройством на фрикционной основе. Отличие системы от своего прототипа заключается в конструктивном совмещении места установки консольной балки 12 с местом установки стоек со сферическими поверхностями концов 15. Для чего консольная балка выполняется в виде оболочки конического сечения, охватывающей стойку и располагаемой в отверстии кольцевого элемента (гасящая шайба). Вертикальная установочная ось является общей для стоек, консоли и кольцевых элементов.

При возникновении горизонтального динамического воздействия на консоли, размещенные в отверстиях кольцевых элементов, сообщают последним поступательное движение, которое посредством фрикционного взаимодействия погашается.

Изготовление консоли полой, увеличивает ее гибкость и, отчасти, силы упругости могут быть задействованы для упругого демпфирования силового импульса. Кроме этого компактное размещение позволяет оптимально использовать строительный объем, в котором монтируется сейсмоизолируемая система.

Достоинством включающихся связевых элементов являются то, что:

1. В отличие от выключающихся связевых систем это многоуровневые системы (элементы), которые устраиваются на весь срок эксплуатации строительного объекта.
2. Они обеспечивают общую устойчивость строительному при сейсмических воздействиях объекту при использовании систем активной сейсмозащиты, т.е. в условиях кинематически подвижного фундамента.
3. Они позволяют инженеру целенаправленно изменять характер и условия работы строительной системы при сильных сейсмических воздействиях и тем самым позволяют «уводить»

динамическую систему от резонансных явлений в случае совпадения доминантного периода колебаний землетрясения с основным периодом собственных колебаний сооружения.

4. Это надежные, эффективные, относительно дешевые, простые в изготовлении, установки и эксплуатации элементы активной сейсмозащиты.

5. Это, благодаря совместным научным исследованиям и конструкторским разработкам: ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсевича, КБ по железобетону им. Якушева, Иркутскгражданпроекту, КазпромстройНИИпроекту, КазПСНИИП, Камчатскгражданпроекту, КрымНИИпроекту, ФПИ, Фрунзегорпроекта, ТбилЗНИИЭП, ЦНИИпромзданий, ЦНИИЭП учебных зданий, хорошо теоретически и экспериментально проработанные конструктивные системы (элементы) активной сейсмозащиты. [1-2, 5-6]

Их основными недостатками являются:

1. Все включающиеся связи являются вспомогательными системами (элементами) активной сейсмозащиты, вследствие чего им присущи все достоинства и недостатки, присущие основной сейсмозащите, которая как раз и обеспечивает защиту строительного объекта от сейсмического разрушения.

2. Она не срабатывает на вертикальные сейсмические импульсы. Для этого в систему дополнительно вводятся упругие ограничители вертикальных перемещений (вертикальная связь).

3. Из-за кинематической подвижности основной активной сейсмозащиты, строительная система реагирует на динамические и импульсно-ветровые воздействия, вследствие чего, в систему приходится вводить еще и «выключающиеся» связи.

4. Из-за того, что величина импульсного воздействия всегда больше статического воздействия, поэтому требуются специальные конструктивные меры по восприятию негативного роста нагрузки.

5. Это требование высокой культуры проектирования, строительства и эксплуатации.

**В целом, адаптивные системы на базе включающихся связей заслуживают внимания со стороны специалистов и могут быть рекомендованы к использованию в строительной практике для обеспечения общей устойчивости строительному объекту в условиях кинематически подвижного фундамента и для нейтрализации сейсмической нагрузки, связанной со способностью системы быстро (мгновенно) перестраивать сложившуюся систему силовых факторов.**

## 1.4.2. Системы с гасителями колебаний

### 1.4.2.1. Маятниковые гасители

**Динамические гасители** колебаний относятся к специальным устройствам, применяемым для снижения негативного уровня ветровых импульсных и сейсмических воздействий на защищаемый строительный объект. При работе гасителя энергия колебаний защищаемой конструкции передается гасителю, вследствие чего происходит уменьшение амплитуды колебаний объекта защиты, тем самым, осуществляется снижение негативного динамического воздействия на основной, защищаемый объект. [1-6]

Вообще-то, в строительной практике динамические гасители колебаний - это самостоятельное направление и то, что мы рассматриваем его в разделе активных систем сейсмозащиты, объясняется объективными причинами:

Дело в том, что большинство активных систем сейсмозащиты, в силу своих конструктивных особенностей, обладают повышенной конструктивной податливостью и подвижностью. Вследствие чего, сейсмозащищаемые объекты реагируют не только на сейсмические, но и на ветровые, и динамические воздействия.

Колебания строительного объекта отрицательно сказываются на общей устойчивости строительного объекта, на сохранности инженерных сетей и коммуникаций, пронизывающих строение, и вызывают дискомфорт людей, находящихся в объекте. Поэтому нейтрализация негативной составляющей ветрового воздействия становится важным условием общей устойчивости строительной системы. Для устранения чего и используют гасителя колебаний.

Однако так как в нашем случае это вызывается введением активных систем сейсмозащиты, то и рассматривается они в разделе активной сейсмозащиты. Опять же, в определенной мере, снижая динамическое воздействие, гасители колебаний могут снижать и сейсмическое воздействие. Правда, при этом, гасители колебаний уступают по величине снижения сейсмического воздействия другим системам активной сейсмозащиты.

Конструктивно гасители колебаний представляют собой либо инерционную массу, соединенную с объектом защиты посредством упругой подвески (троса, шарнирных стержней, пружины) (Рис. 1.18, а), либо инерционную массу в виде платформы, скользящей или перемещаемой по перекрытию, в уровне верха (чердака) здания или сооружения (Рис. 1. 18, б).[1-6]

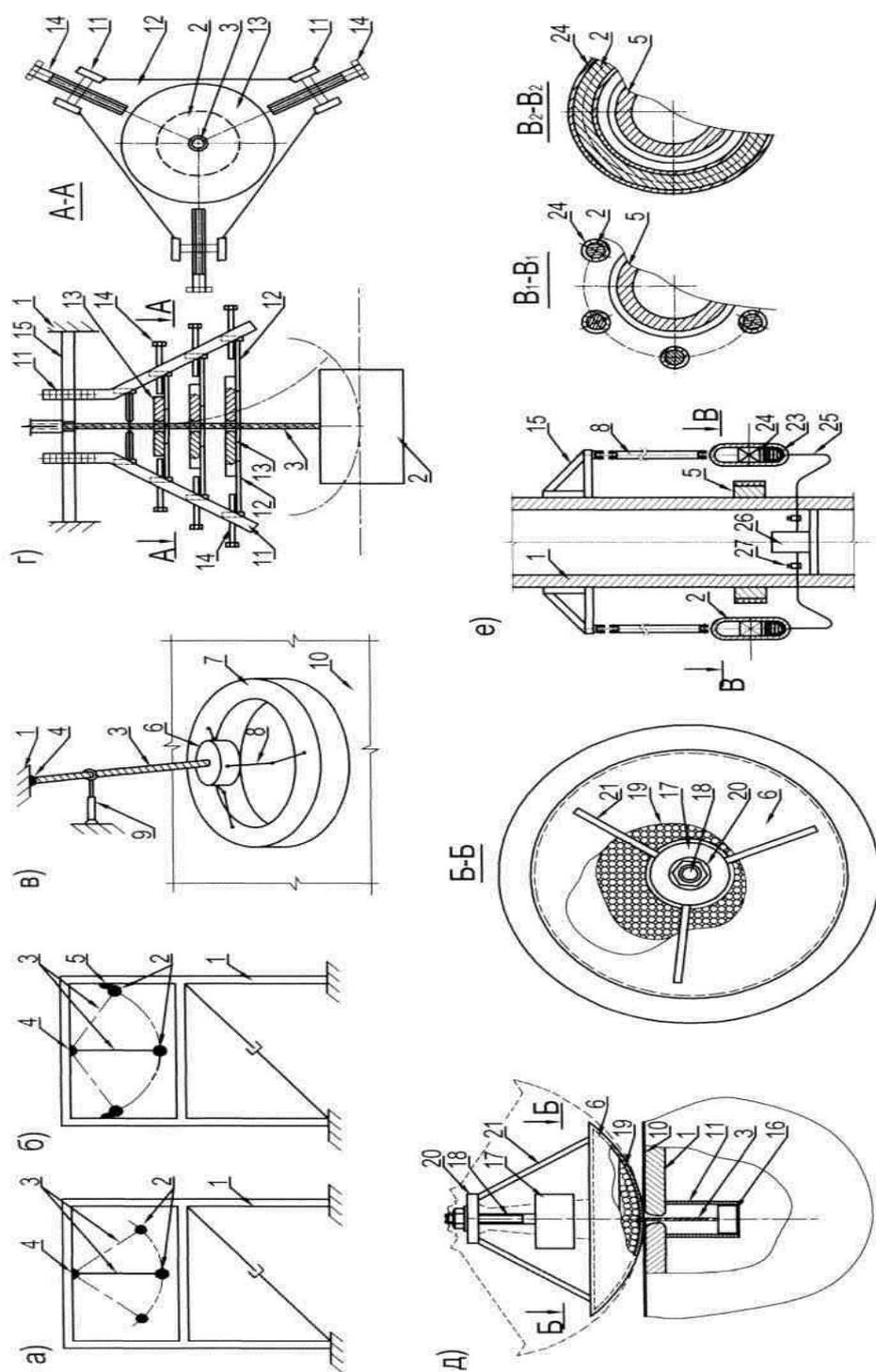
В зависимости от конструктивного исполнения динамических гасителей колебаний, они подразделяются на гасители:

**маятникового; плавающего;  
и пружинного или комбинированного типа.**

При этом в зависимости от характера динамического взаимодействия гасителя с несущими конструкциями защищаемого строительного объекта различают гасители колебаний ударного и инерционного типа. Если гаситель колебаний включается в динамический процесс колебания строительной системы посредством инерционного рывка его инерционной массы 2, то это гаситель инерционного типа (Рис. 1.18, а), а если за счет посредством удара, то это гаситель ударного типа, (Рис. 1.18, б).

По своей конструктивной сути динамические гасители колебаний строительного объекта маятникового типа (Рис. 1.18, а) довольно просты. В целом они представляют собой динамическую систему, состоящую из непосредственно защищаемого строительного объекта 1 и инерционной массы 2, в точке крепления 4 жестко подвешенную к объекту на упругой, тросовой подвеске 3. При

этом, амплитуда и частота собственных колебаний маятникового гасителя регулируется: изменением веса массы строительного объекта 1, гасителя колебаний 2 и изменением длины тросовой подвески 3, а затухание в гасителе - за счет сил внутреннего трения, возникающих при изгибных деформациях верхней части тросовой подвески 3 или посредством дополнительного введения в систему специальных демпфирующих систем и устройств. Кроме этого, в случае необходимости, затухание в гасителе можно увеличить за счет установки дополнительных, промежуточных опор по длине тросовой подвески 3. В маятниковых гасителях ударного типа (Рис. 1.18, б), как правило, в систему дополнительно вводится еще и бойное приспособление 5 (Рис. 1.18, б), предназначенное для непосредственного восприятия удара от инерционной маятниковой массы 2. [1-6]



**Рис. 1.18. Конструктивные примеры динамических гасителей маятникового типа**

общая схема гасителя: а) инерционного и б) ударного типа; варианты гасителя по а.с. СССР: в) № 1270252 (М. кл. E04 B1/98); г) № 717247 (М. кл. E04 B 1/98 и F15/00); д) № 767333 (М. кл. E04 H12/00); е) № 1184913 (М. кл. E04 B1/98);

1 - строительный объект, 2 - инерционная масса, 3 - тросовая подвеска, 4 - точка крепления подвески к объекту, 5 - бойное приспособление, 6 - центральная и 7 - периферийная части инерционной массы, 8 - шарнирные связи, 9 - демпфирующее устройство и 10 - горизонтальная плоскость демпфирования, 11 - ограничитель колебаний, 12 - направляющие ограничителя, 13 - подвижные шайбы, 14 - винтовые упоры, 15 - кронштейны, 16 - демпфирующий груз, 17 - масса настройки, 18 - винтовая, регулирующая штанга, 19 - слугучий материал, 20 - ригель, 21 - рама гасителя, 22 - полости, 23 - эластичные сердечники, 24 - баластные сердечники, 25 - гибкий трубопровод, 26 - источники повышенного давления, 27 - вентиль.

Обязательное наличие у динамического гасителя колебаний маятниковой системы является определяющим фактором всех гасителей маятникового типа. Наблюдаемы же конструктивные отклонения (изменения) в других новациях гасителя, по-существу не меняют сути основной идеи и фактически представляют собой различные варианты ее практического, конструктивного развития.

Самым известным вариантом реализации отмечаемой идеи является строительство небоскреба «Тайбей 101» (Тайвань). Здесь для стабилизации положения небоскреба от ветровых и сейсмических подвижек фирмой Thornton-Tomasetti Engineers совместно с Evergreen Consulting Engineering был использован инерционный демпфер колебаний, представляющий собой 660-тонный стальной маятник, подвешенный на стропях из высокопрочных тросов на 88-92 этажам. Маятник колеблется, компенсируя движение здания, вызванное сильными порывами ветра. Его сфера, крупнейшая в мире, состоит из 41 стальной пластины, каждая толщиной 125 мм, что вместе составляет 5.4 м в диаметре. На уровне горизонтальной средней линии к основному шару прикреплены к восьми вязким демпферам, снабженных амортизирующими пружинами [7-10]. При этом техническая целесообразность амортизирующих пружин обусловлена необходимостью смягчения ударного воздействия инерционного шара маятникового гасителя колебаний на кольцо буфера-ограничителя, а вязких демпферов - для рассеивания механической энергии движения шара в окружающее пространство за счет преобразования ее в тепловую энергию.

Заметим, что при нормальных условиях амплитуды инерционного шара находятся в пределах 10 см, а в случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна, что бывает примерно раз в 100 лет, шар будет раскачиваться с амплитудой 1.5 м. [7-10]. С учетом большой массы шара, ударное воздействие шара может достигать существенных величин. Поэтому использование вязких демпферов, снабженных амортизирующими пружинами, следует признать конструктивно оправданным.

Экономическая целесообразность маятникового гасителя заключается в том, что система используется не только для снижения негативного влияния сейсмического воздействия, но так же и для снижения влияния ветрового воздействия на строительный объект. Так как ветровое воздействие в повседневной жизни наблюдается чаще, то использование системы становится рентабельнее.

Затем, так как небоскреб имеет 101 надземный и 5 подземных этажей, то в общем объеме затрат на возведение небоскреба, затраты на установку маятникового гасителя с вязкими демпферами является относительно небольшими, экономически оправданными.

Квалифицированный персонал, необходимый для ремонтно-профилактических работ, связанных с обслуживанием маятникового гасителя колебаний, используется по совместительству с выполнением других работ. Что так же снижает затраты на эксплуатацию системы.

И, наконец, следует отметить комфортные условия для людей, находящихся в небоскребе, связанные с отсутствием ветровой раскачки здания. Одновременно с этим, стабилизация положения небоскреба положительно сказывается на сохранности инженерных сетей и коммуникаций, проходящих внутри здания.

Иная конструктивная реализация идеи наблюдается в техническом решении по а.с. СССР

№ 1270252. Здесь, с целью расширения области использования гасителя за счет понижения его парциальной частоты колебаний, инерционная масса выполняется составной, в виде коаксиально установленных центральной 6 и периферийной части 7. При этом центральная часть 6 инерционной массы 2 гасителя колебаний с помощью упругого подвеса (троса) 3, жестко крепиться непосредственно в точке крепления 4 к верхней части строительного объекта, а периферийная часть 7, с помощью радиальных связей 8, шарнирно крепиться к центральной части 6. Шарнирное

крепление частей инерционной массы обеспечивается за счет того, что радиальные связи 8 выполняются в виде составных стержней, части которых шарнирно соединены друг с другом и составными частями 6 и 7 инерционной массы. Ниже точки крепления 4 упругой подвески 3 маятниковой системы организовано дополнительное демпфирующее устройство 9. При колебаниях конструкций строительного объекта центральная часть 6 инерционной массы гасителя перемещается как обычный математический маятник, а периферийная масса 7, за счет шарнирно выполненных радиальных связей 8, перемещается по горизонтальной плоскости демпфирования 10, совершая движение, при котором траектория ее центра тяжести находится в пределах горизонтальной плоскости 10. Таким образом, демпфирование маятника осуществляется: за счет дополнительной установки промежуточной опоры по длине тросовой подвески 3, в ее верхней части, самого демпфирующего устройства 9 и горизонтальной, демпфирующей поверхности 10. В то время как по техническому решению а.с. СССР №717247, с целью повышения эффективности гашения колебаний строительного объекта, в маятниковую систему дополнительно вносятся ограничители качания 11 инерционной массы 2 в виде направляющих 12, на которых установлены подвижные шайбы 13 с центральными отверстиями. Причем направляющие 12 снабжены регулируемыми, винтовыми упорами 14, установленными с круговыми зазорами относительно подвижных шайб 13, а тросовая подвеска 3 пропущена сквозь центральные отверстия подвижных шайб 13, которые свободно установлены на направляющих 12, и жестко крепятся к строительному объекту 1 через ограничитель 11 качания маятника. Круговые зазоры между винтовыми упорами 14 и подвижными шайбами 13 выполнены переменными и выбраны из условия, чтобы при раскачивании инерционной массы 2 маятника в крайних ее ось положениях тросовой подвески 3 будет располагаться по эвольвенте циклоиды, проходящей через точку закрепления троса к ограничителю колебаний 11. Величины зазоров, а значит и ход шайб, можно изменять как посредством регулируемых винтовых упоров 14, так и подбором диаметров шайб 13.

По сравнению с выше рассмотренными техническими решениями, вариант гасителя по а.с. СССР № 767333 является конструктивно более сложным, внешне не схожим и, тем не менее, если разобраться, то по принципу работы они между собой аналогичны.

Здесь, с целью повышения эффективности гашения колебаний при расширении диапазона частот работы гасителя и уменьшения количества гасителей, инерционная масса маятниковой системы выполняется из трех основных частей: из полый, центральной части 6, частично заполненной сыпучим материалом 19 и двух металлических болванок, соответственно выполняющих роль демпфирующего груза и массы настройки гасителя колебаний.

При этом полая часть инерционной массы 6 гасителя колебаний имеет форму поверхности вращения с положительной гауссовой кривизной, т.е. в виде матрешки-неваляшки «Ваньки-встаньки» и опирается она на верхнее перекрытие строительного объекта 1. В месте контакта инерционной массы 6 и плиты перекрытия опорная конструкция покрыта материалом с малым модулем упругости, например, листовой резиной. В результате чего, получается своего рода горизонтальная упругодемпфирующая опорная поверхность 10.

Демпфирующее устройство гасителя колебаний представляет собой металлическую болванку 16, подвижно установленную в вертикальных ограничителях 11 и посредством тросовой подвески 3, вместе контакта опорной конструкции 1 с центральной частью 6 инерционной массы гасителя, через специально устроенное в опорной конструкции отверстие, жестко соединенной с центральной инерционной массой 6.

Приспособление для настройки гасителя колебаний тоже представляет собой металлическую, болванку 17, но уже закрепленную на конце винтовой, регулировочной штанге 18, свободный

конец которой проходит через винтовое отверстие ригеля 20 пространственной рамы 21, опорные концы которой жестко соединены с основной частью 6 инерционной массы гасителя колебаний.

Работает гаситель следующим образом:

Под воздействием ветрового импульса элементы отклоняются от своего положения равновесия. А так как это связано, из-за формы изготовления центральной части инерционной массы 6, с поднятием общего центра тяжести системы вверх, то силы гравитации стремятся вернуть гаситель в его исходное положение. Однако сила инерции, вызванная движением системы из неустойчивого положения в ее устойчивое положение, вновь отклоняют систему от положения равновесия. При этом затухающие колебания гасителя будут осуществляться до полного поглощения силового импульса или до его полного рассеяния в пространстве диссипативными силами. Амплитуда, частота и время колебания гасителя определяется величиной силового импульса, массой и геометрией элементов гасителя, силами трения и гравитации. В целом, диссипация энергии силового импульса гасителя определяется силой трения основной части 6 инерционной массы гасителя с горизонтальной упругодемпфирующей, опорной поверхностью 10, за счет сил трения частиц сыпучего материала 19 друг о друга и центральной частью в инерционной массы, трения прядей каната подвески 3 и трения демпфирующего груза 16 с элементами вертикального ограничителя 11 колебаний. Поэтому для настройки гасителя на работу 6 в противофазе со строительным объектом все только что отмеченные элементы системы гасителя заранее определяются и учитываются на стадии проектирования и монтажа гасителя. Заключительное же регулирование системы, ее отладка осуществляются непосредственно на стройплощадке, посредством выдвижения винтовой, регулировочной штанги 18 относительно опорного ригеля 20 и изменением массы (объема) сыпучего материала 19.

Как следует из выше представленного конструктивного описания маятниковых гасителей колебаний, то по характеру их силового взаимодействия с конструкциями защищаемого строительного объекта, все они относятся к гасителям инерционного типа. А значит, пока возможности маятниковых гасителей нами представлены лишь частично, т.е. не в полной мере. Для исправления данного обстоятельства, чтобы объективно представить имеющиеся возможности гасителей, рассмотрим еще вариант гасителя ударного типа, в частности, на базе конструктивного решения по а.с. СССР № 1184913. Цель, достигаемая данным вариантом гасителя, - это снижение трудоемкости его настройки. Основная суть идеи заключается в использовании все той же маятниковой системы, жестко закрепленной на кронштейнах 15 (Рис. 1.18, е). Отличительной особенностью данного гасителя выступает наличие специального бойного приспособления 5 и конструктивное исполнение инерционной массы. При этом и кронштейны 15, и бойное приспособление 5, выполненное в виде специализированного кольца, закреплены непосредственно на стене, в верхней части строительного объекта 1. Менее существенным отличием является использование вместо тросовой подвески инерционной массы к кронштейну шарнирных связей 8.

Внешне инерционная масса 6 гасителя представляет собой полый баллон, в полости которого размещены балластные сердечники 24, установленные с возможностью вертикального перемещения по продольной оси полости маятника. Под сердечником 24, в нижней части полости баллона установлен привод вертикального перемещения маятника в виде емкости 23 со стенками из упруго-эластичного материала, соединенный с гибким трубопроводом 25 с источником избыточного давления 26 рабочей среды, например гидронасосом, компрессором. Гибкий трубопровод 25 снабжен вентилем 27.

При колебаниях строительного объекта 1 под действием ветра маятниковые системы колеблются в противофазе, производя соударение с бойным приспособлением 5 и обеспечивая,

таким образом, гашение колебаний объекта 1. Для настройки маятниковых систем 2 изменяют высоту их общего центра тяжести путем нагнетания рабочей среды (жидкости, воздуха) с помощью источника 26. Для чего открывают вентиль 27. Рабочая среда по трубопроводу 25 поступает в эластичную емкость 23, объем которой увеличивается, стенки емкости растягиваются и поднимают балластный сердечник 124 до тех пор, пока не обеспечиваются оптимальные условия гашения колебаний сооружения, т.е. пока колебания маятников не будут производиться точно в противофазе с колебаниями сооружения. После чего перекрывают вентиль 27. В этом случае общий центр тяжести маятников смещен вверх относительно первоначального положения маятниковой системы 2. Если при настройке маятников необходимо сместить их общий центр тяжести вниз, открывают вентиль 27 и рабочая среда под действием массы сердечников 24 выдавливается в резервную емкость источника (не показана) или стравливается в атмосферу (в случае использования воздуха в качестве рабочей среды). При этом сердечник 24 опять же опускается до тех пор, пока не обеспечится оптимальный режим колебаний маятников. Механизм настройки может быть применен при использовании маятников в виде отдельных цилиндрических масс, подвешенных по периметру сооружения (рис. 1.18, ж), так и одного маятника в виде кольца (Рис. 1.18, з). В последнем случае балластный и эластичный сердечники также выполняются в виде цилиндрического кольца.

Достоинством маятниковых гасителей следует отнести их конструктивную простоту и возможность пространственной защиты строительного объекта от негативных, сейсмических и импульсно-ветровых воздействий.

Основным недостатком гасителей колебаний маятникового типа является то, что они настраиваются на определенные частоты или узкий спектр колебаний динамической системы, в то время как каждое землетрясение, в силу целого ряда объективных причин, характеризуется широким спектром амплитуд и частот силового возмущения. В результате, обеспечив снижение негативного воздействия по одному конкретному уровню негативного воздействия, мы не обеспечиваем оптимальных условий общей сейсмозащиты объекта. Таким образом, приходится признать, что эффективное использование гасителей колебаний не соответствует уровню решаемой задачи. И, тем не менее, гасители колебаний заслуживают к себе особого, повышенного внимания: их следует разрабатывать, исследовать, внедрять через экспериментальные проекты. Связано это с тем, что при расчете строительных объектов на сейсмические воздействия, они, как правило, рассчитываются сейсмические возмущения, а импульсно-ветровой составляющей, из-за ее меньших физических значений, обычно пренебрегают. Однако широкое применение и использование в современной, строительной практике, высотных, гибких объектов (небоскребов), систем и элементов активной сейсмозащиты существенно изменили соотношения в силовом балансе сил, действующих на строительный объект. И здесь, для обеспечения эффективной и надежной работы строительного объекта, применение гасителей колебаний совместно с элементами сейсмозащиты может оказаться перспективным и целесообразным.

#### **1.4.2.2. Скользящие гасители**

Динамические гасители колебаний строительного объекта скользящие или плавающего типа представляет собой инерционную массу динамически скользящую или перемещаемую по перекрытию в уровне верха здания или сооружения (Рис. 1.19, а). В динамический процесс колебаний системы гаситель включается импульсно за счет инерционного рывка или удара и, тем самым, он обеспечивает уменьшение амплитуды колебаний непосредственно на объект защиты [1-6].

В простейшем представлении такой гаситель состоит: из непосредственно защищаемого строительного объекта 1, из массивного, инерционного блока 2, опор качения или скольжения (пластины с достаточно низким коэффициентом трения) 3 и бойного приспособления 4 (Рис. 1.19, а). При этом инерционный блок 2 располагается в уровне верха строительного объекта и опирается на перекрытие 5 через опоры качения или скольжения 3, а бойное приспособление 4 устанавливается между инерционным блоком 2, на несущих конструкциях строительного объекта 1, в которые и приходится удар динамически подвижной, инерционной массы 2. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается за счет сил трения качения или трения скольжения в опорах 3, возникающих при относительных перемещениях динамически подвижной, инерционной массы гасителя.

Рассмотри сказанное на примере конструктивного решения двух вариантов ударного и одного инерционного гасителя плавающего типа.

Так, в соответствии с техническим решением по а.с. СССР № 761675, с целью обеспечения возможности эффективного гашения колебаний гибких сооружений с большой амплитудой и низкой собственной частотой, инерционная масса 2 гасителя, устанавливается на опорах качения 3 в виде шаров. При этом опорные шары 3 размещаются в специальных, шаровых углублениях 5, имеющих форму поверхности вращения с положительной гауссовой кривизной. В качестве альтернативных вариантов реализации идеи, шаровые углубления 6 могут быть выполнены как на нижней части динамически подвижной, инерционной массе 2 (Рис. 1.19, б), так и на верхней части плиты перекрытия 5 (Рис. 1.19, в), на которой размещены опоры качения. Между защищаемым строительным объектом 1 и инерционной массой 2 размещаются демпфирующие устройства 7.

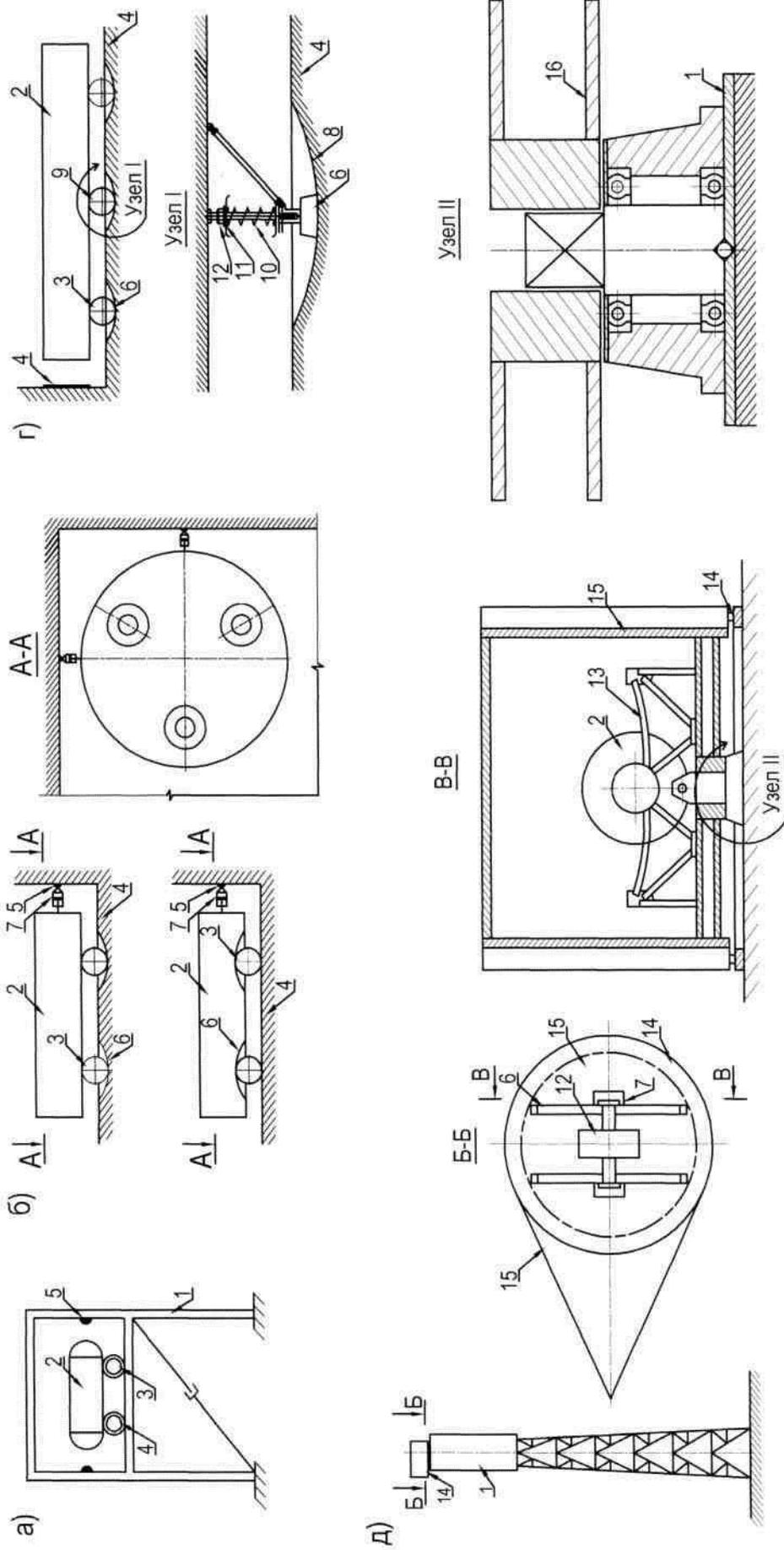
Размеры и количество шаров определяется контактными напряжениями на поверхности шаров или опорных поверхностях, однако их количество не может быть менее трех.

Гашение колебаний происходит за счет перемещения инерционной массы 2 на шаровых опорах 3 по поверхности углублений 6 в противофазе с колебаниями сооружения. Выполнение формы углублений в виде поверхности вращения с положительной гауссовой кривизны создает постоянную настройку гасителя, не зависящую от амплитуды колебаний.

Рассеивание энергии осуществляется демпфирующими устройствами 7, имеющих линейно-жесткую характеристику. Например, гидравлическим демпферами.

Так как опоры качения выполнены в виде шаров, а углубления имеют форму поверхности вращения с положительной кривизной, то гаситель эффективен при любом направлении колебаний сооружения.

При размещении массы гасителя на высотных сооружениях с малой базой инерционную массу 2 выполняют в виде кольца, а опорное перекрытие 5 – консольным, снаружи сооружения с зазором, превышающим перемещение массы. Выполнение массы гасителя в виде кольца позволяет устанавливать ее не внутри сооружения. А снаружи его. Это дает возможность эффективно использовать внутренний объем сооружения. Например, для установки оборудования. Кроме этого, такая конструкция гасителя эффективна для сооружения значительной высоты, так как снимает ограничение на величину инерционной массы. С другой Стороны, как это уже нами отмечалось при анализе систем и элементов активной сейсмозащиты с кинематическими опорами на базе шаровых опор, в рассматриваемом варианте гасителя имеется целый ряд существенных недостатков:



**Рис. 1.19. Конструктивные примеры динамических гасителей колебаний скользящего типа**

а) общая схема; варианты гасителя по а.с. СССР: а) № 76765; в) № 757661; г) № 1141169; (все М. кл. E04 B1/98);

1 - защищаемый объект, 2 - инерционная блок (масса), 3 - опоры скольжения или качения, 4 - опорная площадка, 5 - бойное приспособление, 6 - шаровые углубления, 7 - демпфирующее устройство, 8 - демпфирующий башмак, 9 - устройство регулировки поджатия башмака, 10 - пружина, 11 - упорная шайба, 12 - гайка, 13 - криволинейные и 14 - кольцевые направляющие.

15 - обтекатель, 16 - поворотная платформа.

Учитывая тот факт, что смазка оказывает существенное влияние на изменение вида трения, а значит и параметров трения, обязательно следует предусматривать конструктивные мероприятия, предотвращающие возможность попадания по контракту опоры скольжения смазки и выпадения конденсата.

Учитывая время эксплуатации строительных объектов, измеряемый многими десятилетиями и даже столетиями, то обязательно следует учитывать отложение пыли по поверхности шаровой опоры и опорных поверхностях, способной со временем изменять значение трения. Вследствие чего, следует либо предусматривать средства по ограничению пылевых отложений, либо требуется организовать доступ для уборки пыли, соответствующее оборудование и специалистов, что отрицательно скажется на стоимости гасителя колебаний.

При значительном наклоне опорной поверхности шарообразного углубления 6, за счет роста трения, связанного с наклоном опорной поверхности, либо динамически подвижный инерционный блок 2 начнет скользить по шаровым опорам 3, либо шаровые опоры начнут скользить по опорной поверхности 5 (плите перекрытия). Вследствие чего, вместо трения качения будет иметь место трение скольжения. Так, как конструктивно системы скольжения много проще, дешевле в изготовлении и эксплуатации, чем системы качения, то их использование является предпочтительным.

Конструктивно схоже с рассмотренным вариантом гасителя плавающего типа выглядит и техническое решение по а.с. СССР № 757661. Отличаются же они друг от друга лишь конструктивным исполнением демпфирующего устройства, которое, с целью повышения эффективности гасителя в работе, выполняется в виде демпфирующего башмака 7, снабженного прижимной пружиной 8 с упорной шайбой 9 и гайкой 10 для обеспечения регулировки усиления поджатия башмака к опорной поверхности углубления 4. Кроме этого, демпфирующие, рабочие поверхности башмака 7 с контактирующей опорной площадкой выполняются криволинейными, из фрикционного материала, в качестве которого авторами идеи предлагается использовать сплав «феррадо».

Конструктивно башмак 7 может быть прикреплен либо к инерционной массе 2, и тогда его рабочая поверхность контактирует с поверхностью плиты перекрытия 5, либо башмак 7 может быть прикреплен к перекрытию 5. и тогда его рабочая поверхность контактирует с инерционной массой.

Для обеспечения эффективной работы гасителя в холодное время года в углублениях площадки 6 определены отверстия для стока воды.

К сожалению, нововведения данного технического решения не отменяют и не исправляют недостатков ранее отмеченных недостатков гасителей плавающего типа. Существенная конструктивная схожесть систем между собой ведет к одним и тем же недостаткам.

Техническое решение по а.с. СССР № 11411169, является вариантом развития идеи инерционного гасителя плавающего типа, с целью которого является повышение его эффективности в работе. При этом гаситель колебаний наряду с инерционной масс 2, включает в себя еще и криволинейные направляющие 13, определяющие траекторию движения инерционной массы и соединяющие ее со строительным объектом 1, демпфирующее устройство 7, защитной обтекатель 15, поворотную платформу 16, которая вместе с разменными на ней инерционной массой 2, направляющими 13 и демпфирующим устройством 7 помещена в обтекатель 15. Поворотная платформа 16 может поворачиваться относительно оси сооружения 1 по кольцевым направляющим 14, расположенным на защищаемом строительном объекте 1.

При воздействии ветра на строительный объект 1 защитный обтекатель 15, конструктивно

представляющий собой флюгер и прикрепленный к поворотной платформе 16 с установленным на ней гасителем, поворачивается вдоль направления ветра. В случае возникновения регулярных колебаний сооружения, например, типа «ветровой резонанс», гаситель колебаний начинает работать. Работа гасителя заключается в движении инерционной массы

2 по криволинейным направляющим 13 в противофазе с колебаниями строительного объекта 1. Происходит передача энергии от строительного объекта к инерционной массе гасителя колебаний. Амплитуда колебаний (перемещений) инерционной массы 2 гасителя становится равной амплитуде колебаний объекта 1. В результате чего, строительный объект колеблется с меньшей амплитудой. Эффективность гасителя в существенной мере зависит от и остроты настройки гасителя. Баланс энергии поддерживается демпфирующим устройством.

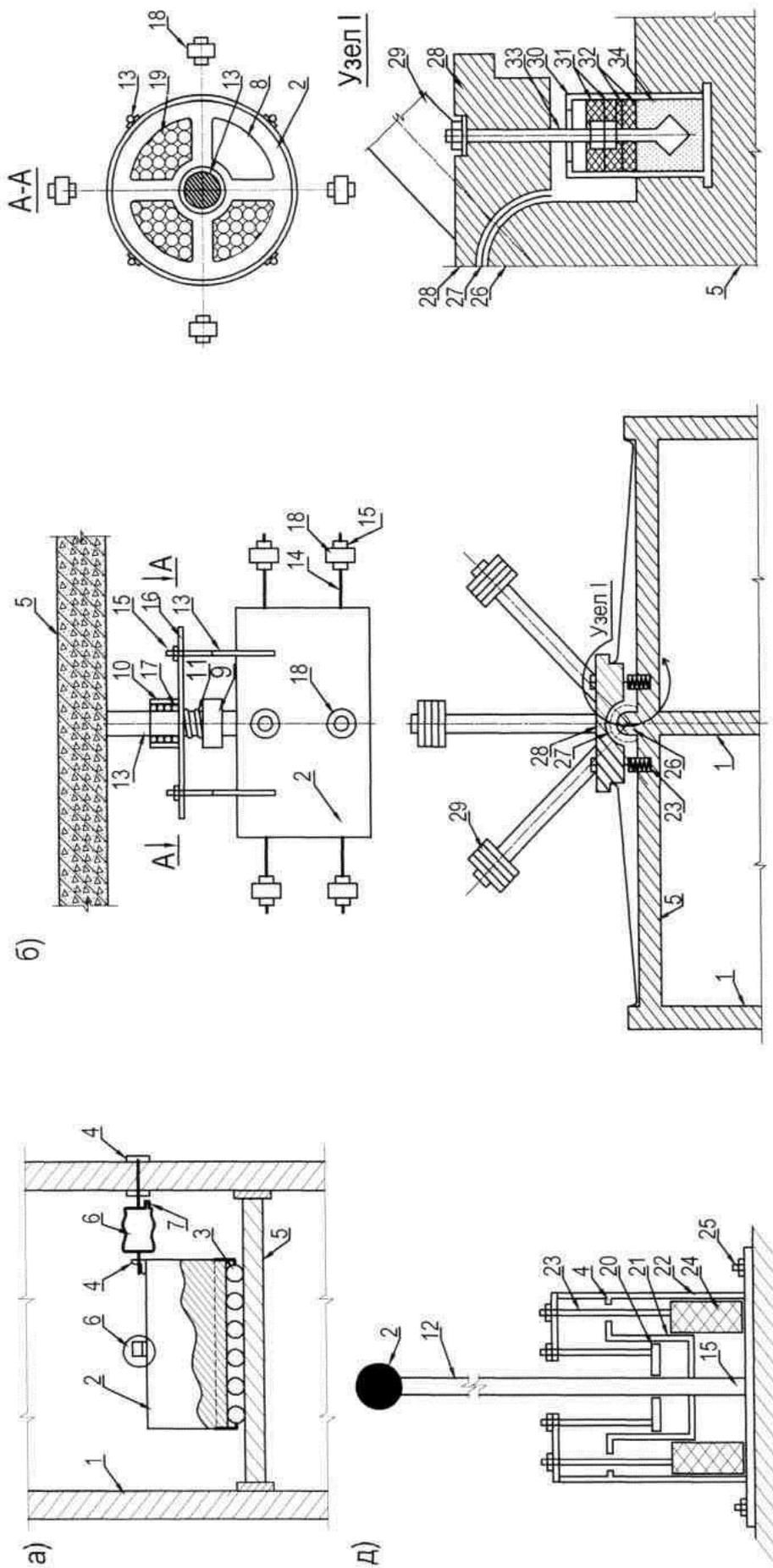
Так как динамический гаситель колебаний конструкции помещен в обтекатель 15, поэтому влияние климатологических воздействий на его работе не сказывается. Благодаря взаимодействию с ветром обтекатель совместно с поворотной платформой 16 и установленным на ней гасителем колебаний поворачивается вдоль ветрового потока, а гаситель располагается в плоскости колебаний сооружения, вызванная этим потоком, что позволяет существенно повысить эффективность работы гасителя.

### **1.4.2.3. Комбинированные гасители**

Динамические пружинные или комбинированные гасители колебаний строительного объекта, по существу являются более сложными вариантами практического развития систем гасителей маятникового и плавающего типа, отличаясь от последних наличием специальных, пружинных систем, обеспечивающих режим колебания и стабилизации динамической системы в целом (Рис. 1.20, а). Требуемое затухание колебаний в защищаемом, строительном объекте 1 обеспечивается за счет сил внешнего трения в смещаемых (скользящих) или перемещаемых (катящихся) опорах 3, сил внутреннего трения, возникающего при относительных перемещениях инерционной массы гасителя 2 по плите перекрытия 5 относительно проектного положения установки гасителя, посредством использования пружин или специально устанавливаемых для этого вязких демпфирующих устройств 6 [1-6].

Наиболее простым и наглядным вариантом реализации данной идеи может служить техническое решение по а.с. СССР №379757 (Рис. 1.20, а), в котором, с целью обеспечения возможности эффективного гашения колебаний гашение строительного объекта при минимальных габаритах гасителя, между защищаемым строительным объектом 1 и инерционной массой 2 гасителя колебаний в динамическую систему дополнительно, через упоры-ограничители 4, включен демпфер-сильфон 6 с дроссельным отверстием 7. При возвратно-поступательных движениях торца сильфона 6 через дроссельное отверстие 7 проталкивается воздух, что способствует повышению поглощения энергии колебаний.

Как следует из описания, это детали гасителя требуют высокого качества или машиностроительной точности изготовления. Затем, гаситель работает только в плоскости своей установки и конструктивно не в состоянии воспринимать силовые воздействия других направлений. Вследствие чего, он проигрывает аналогичным, но более простым и эффективным системам гашения ветрового воздействия.



**Рис. 1.20. Конструктивные примеры динамических гасителей комбинированного типа**

варианты гасителя по а.с. СССР: а) № 379757 (общая схема); б) №1196461;в) №1203213; г) № 1211399 (все М. кл. E04 В1/98);

- 1 - защищаемый объект, 2 - инерционная масса, 3 - опора качения или скольжения, 4 -уполтры-ограничители, 5 - плита перекрытия,
- 6 - демпфер-сильфон, 7 - дроссельное отверстие, 8 - отсеки инерционной массы, 9 - опорный и 10 - направляющий стакан, 11 - пружина,
- 12 - вертикальный, упругий и 13 - вертикальный жесткий стержень, 14 - горизонтальные стержни, 15 - фиксирующий стержень, 16 -прижимная плита, 17 - шаровые сепараторы, 18 - дополнительные массы, 19 - засыпки, 20 - шайба, 21 - внутренний и 22 - внешний стакан, 23 -ходовой винт,
- 24 - цилиндрическое кольцо, 25 - болты, 26 - опорное полушарие, 27 -скользящие прокладки, 28 - плита гасителя со сферической выемкой,
- 29 - консольные маятники с грузами, 30 - корпус, 31 - упруго-пластические прокладки, 32 - металлические пластины, 33 - тяга, 34 - песок.

Технически более сложным вариантом реализации идеи является техническое решение по а.с. СССР №1196461 (Рис. 1.20, б). В котором, с целью повышение эффективности работы гасителя колебаний, комбинированный гаситель колебаний состоит из полой инерционной массы 2 с четырьмя равными отсеками 8, опорного стакана 9, пружины 11, регулировочного устройства в виде вертикальных жестких стержней 13 с фиксаторами 15 и прижимной горизонтальной плиты 16, направляющего стакана 10 с шариковым сепаратором 17, упругих горизонтальных стержней 14 с фиксаторами 15 и дополнительными массами 18, центрального, вертикального, жесткого стержня 13, связывающего инерционную массу 2 с колеблющейся строительной конструкцией 1 и засыпки 19.

Работает устройство следующим образом. К строительной конструкции 1 на жестком центральном стержне 13 при помощи пружины 11, опорного 9 и направляющего 10 стаканов и регулировочного устройства, включающего прижимную горизонтальную плиту 16, фиксаторы 15 и вертикальные, жесткие стержни 13, крепится инерционная масса 2. При возникновении вертикальных колебаний конструкции 1 энергия этих колебаний передается через центральный стержень 13 к инерционной массе 2. В результате инерционная масса 2 также начинает совершать сложные колебания, состоящие из вертикальных колебаний в горизонтальной плоскости.

Затем для настройки гасителя колебаний в отсеках 8 инерционной массы 2 размещают засыпку 19 заданной величины, в результате чего инерционная масса 2 начинает совершать вертикальные колебания с частотой, близкой к частоте вертикальных колебаний конструкции 1. Это происходит потому, что в результате установки пружины 11 с расчетной жесткостью и достижения заданного значения инерционной массы 2 обеспечиваются ее вертикальные колебания с расчетной частотой, близкой к частоте вертикальных колебаний конструкции. При совпадении частот вертикальных колебаний конструкции 1 и инерционной массы 2 последняя масса совершает вертикальные колебания в противофазе с колебаниями конструкции и тем самым обеспечивается наибольшее уменьшение амплитуды вертикальных колебаний конструкции 1

Кроме вертикальных колебаний, инерционная масса 2 совершает также крутильные колебания в горизонтальной плоскости, наличие которых препятствует достижению равенства частот вертикальных колебаний ее и конструкции 1. Для достижения равенства частот вертикальных колебаний конструкции и инерционной массы, снижения крутильных колебаний последней в горизонтальной плоскости инерционная масса 2 перемещается по высоте на периферийных, жестких вертикальных стержнях 13 относительно горизонтальной прижимной плиты 16. Затем инерционная масса 2 фиксируется при помощи фиксаторов 15 в положении, при котором она совершает вертикальные колебания с максимальными амплитудами в режиме, близком к ее резонансным колебаниям, и тем самым обеспечивается дальнейшее увеличение гашения вертикальных колебаний конструкции 1.

Кроме того, положение центра тяжести инерционной массы 2 по высоте относительно конструкции 1 изменяется в зависимости от размещения засыпки 19 заданной величины в двух или четырех отсеках 8 инерционной массы 2. В результате этого происходит дальнейшее снижение амплитуды ее крутильных колебаний.

Установка направляющего стакана 10, жестко связанного с горизонтальной, прижимной плитой 16, уменьшает перекося инерционной массы в вертикальной плоскости и ее крутильные колебания, так как шариковый сепаратор 17 обеспечивает точность направления ее вертикальных колебаний на центральном, жестком стержне 13.

Затем для полного устранения крутильных колебаний инерционной массы 2 в горизонтальной плоскости устанавливаются на упругих горизонтальных стержнях 14 дополнительные массы 18 и

фиксируются в заданном положении с помощью фиксаторов 15. При этом дополнительные массы 18 совершают колебания в горизонтальной плоскости с частотой, равной частоте крутильных колебаний инерционной массы 2, но в противофазе с ее колебаниями.

Таким образом, благодаря устранению крутильных колебаний инерционной массы достигается наибольшее уменьшение амплитуд вертикальных колебаний конструкции.

Как следует из описания конструкции и работы гасителя, это довольно сложная и материалоемкая система, с жесткой настройкой гасителя на работу со строго определенной частотой, которая подбирается заранее и самостоятельно, т.е. в процессе работы гасителя не изменяется. Вследствие чего, гаситель данной конструкции конструктивно и экономически проигрывает другим, более прогрессивным вариантам решения проблемы.

Иная конструкция гасителя предлагается по техническому решению по а.с. СССР

№1203213 (Рис. 1.20, в), в котором, с целью повышения эффективности работы гасителя колебаний, комбинированный гаситель колебаний состоит из инерционной массы 2, прикрепленной к пружине в виде упругого вертикально стержня 12. Шайба 20 имеет возможность перемещаться вдоль внутреннего стакана 21 при помощи ходовых винтов 23. Внутренний стакан 21 упруго связан с внешним стаканом 22 посредством фиксирующего стержня 15. Между внутренним стаканом 21 находится цилиндрическое кольцо 24 из материала с повышенным внутренним неупругим сопротивлением и возможностью перемещения при помощи ходовых винтов 23. Внешний стакан 22 присоединен к сооружению болтами 24. Упоры 4 фиксируют верхнее положение цилиндрического кольца.

Настройка гасителя осуществляется путем перемещения шайбы 20, что приводит к изменению свободной длины пружины и, следовательно, ее жесткости.

Перемещения упругого консольного стержня и внутреннего стакана 21 относительно жесткости закрепленного внешнего стакана 23 происходит совместно.

Эффект демпфирования возникает за счет деформации цилиндрического кольца 24 при перемещениях внутреннего стакана 21. Чем выше поднято кольцо 24, тем больше демпфирование в системе.

При работе в переходном режиме увеличение демпфирования приводит к уменьшению амплитуды колебания сооружения. Если гаситель работает в режиме установившихся колебаний и настроен точно на частоту внешнего воздействия, то амплитуда перемещений в объекте тем меньше, чем меньше величина демпфирования. Поэтому при работе в переходном режиме для обеспечения наибольшей величины демпфирования цилиндрическое кольцо 24 находится в максимально верхнем положении, которое фиксируется упорами 4. При установившихся колебаниях кольцо 24 опускается вниз, что позволяет установить гаситель на минимальную величину демпфирования.

В завершении рассмотрим конструкцию гасителя колебаний, прилагаемую по техническому решению по а.с. СССР №1211399 (Рис. 1.20, г), в котором, с целью повышения эффективности работы гашения и снижение массы гасителя, динамический гаситель колебаний, представляет собой инерционную массу, установленную на усиленном верхнем перекрытии 5 строительного объекта 1 и соединенную с ним посредством упругих связей и демпфирующих устройств массу, в виде жестко прикрепленного к перекрытию опорного полушария 26 и установленной на нем скользящей прокладки 27, плиты 28 с ответной сферической выемкой. При этом плита 28 выполнена с V-образно закрепленными консольными маятниками 29 с концевыми грузами, масса которых составляет 0.3-0.6% от массы сооружения. Упругие связи и демпфирующие элементы присоединены к плите 28 и, в свою очередь, выполнены из корпуса 30, ряда упруго-пластичных

прокладок 31, приложенных металлическими пластинами 32, утолщенного конусного конца тяги 33, помещенного в песок 34.

При землетрясении покрытие резко перемещается, главным образом, в горизонтальном направлении V-образная конструкция с грузом на конце через шарнир за счет инерции препятствует перемещению здания и вследствие значительно более высокой частоты настройки и затухания колебаний в демпфирующем амортизаторе снижает сейсмические нагрузки на сооружение. Благодаря V-образным консольным маятникам динамический гаситель колебаний одновременно частично снижает возможные вертикальные сейсмические воздействия на здание.

## **1.5. Комбинированные варианты систем сеймозащиты**

Из сравнительного анализа конструктивных возможностей активных систем сеймозащиты и технико-экономического анализа систем следует, что практический интерес для нас могут представлять всего лишь с десяток активных систем. При этом только ранние варианты активных систем на базе песчаных и глинистых подушек и вариант сеймозащиты с пластическими шарнирами являются самодостаточными. А все остальные системы, представляющие практический интерес, для обеспечения своей эффективной работы и устойчивости строительной системы, - требуют введения в систему сеймозащиты элементов других систем, а в некоторых случаях даже совместного использования нескольких систем. Раз есть запрос на объединение (агрегатирование) систем сейсмоизоляции между собой, то нам, наверное, стоит определиться с вновь открывающимися при этом техническими возможностями.

На практике возможны следующие варианты объединения систем:

Случай, когда недостатки активных систем суммируются или усиливаются, в результате чего, объединение систем становится технически и экономически не целесообразным из-за чего такие варианты объединения систем нами и не рассматриваются.

Случай, когда конструктивные достоинства одной системы компенсируют недостатки другой. Это наиболее ценные и перспективные для нас варианты объединения активных систем. К сожалению, на практике такие удачные и привлекательные варианты объединения довольно редки.

Поэтому наиболее вероятный для нас является случай вынужденного объединения активных, т.е. когда активные системы не могут эффективно и надежно работать друг без друга. В данном варианте объединения обеспечение оптимального решения сводится к рациональному подбору объединяемых между собой систем и к - их компактному расположению в строительной системе. При этом комбинированный вариант устанавливается с таким расчетом, чтобы обеспечивая нужные свойства и параметры динамической системы, он не нарушал бы условия эксплуатации строительного объекта в процессе всей его службы и утилизации (демонтажа).

В качестве иллюстрирующего примера удачного объединения активных систем рассмотрим комбинацию системы с гибкой нижней частью с системой подвесных этажей, системы, которые сами по себе, недостаточно эффективны и надежны, а с подвесными этажами - еще и очень дороги. [1-5]

Конструктивно решение выглядит следующим образом, на железобетонный ствол 2 (Рис. 1.24, а), начиная со второго этажа, крепятся (навешиваются) все последующие этажи здания. При этом жесткость дисков перекрытий 3 и стен 4 обеспечивают изолируемой части (верху) строительного объекта высокую общую жесткость. Изгиб (податливость) системы возможен только в уровне первого этажа. При этом необходимые прочностные свойства строительной системы определяются геометрией ствола (цилиндрической или коробчатой формой), площадью поперечного сечения, маркой бетона и величиной армирования. [6]

Определенным положительным моментом здесь выступает и то обстоятельство, что, благодаря форме ствола 2, элементы поперечного сечения имеют одинаковое удаление от центра ствола, вследствие чего, всем участкам сечения обеспечиваются равные и оптимальные условия работы, что автоматически обеспечивает равномерность распределения усилий кручения и среза по поперечному сечению.

Вдобавок ко всему, из-за того, что размеры диаметра несущего ствола (обычно это  $6\div 9$  м) меньше по сравнению с габаритами самого строительного объекта то это снижает плечо крутящего момента при деформации и закручивании строительной системы вокруг ее вертикальной оси. [6]

С другой стороны, сейсмозащита это всего лишь часть строительного объекта, совместно и согласованно работающая с другими частями, элементами и узлами строительной системы. Поэтому между частями строительного объекта имеет место не только взаимодействие, но и взаимовлияние его систем и элементов друг на друга, которое, к сожалению, не всегда положительно сказывается на несущей способности строительной системы. Вследствие чего, нам следует обратить внимание на следующие два момента:

Во-первых, так как с целью рационального использования строительного объекта, внутри несущего ствола 2 нередко устраиваются лифтовые шахты и пропускаются инженерные сети и коммуникации, то для их устройства, обслуживания и эксплуатации по всей высоте ствола устраиваются соответствующие прорезы (проемы), что, естественно, увеличивает гибкость и негативно сказывается на несущей способности несущего ствола.

Во-вторых, для функционального использования первого этажа по периметру объекта устанавливаются ветровые фахверковые стойки-колонны и производят внешнее остекление 5.

Отметим, что вводимые в систему усовершенствования носят вспомогательный и сопутствующий характер. При этом с одной стороны они улучшают экономическую эффективность использования от использования строительного объекта, уменьшают негативное влияние от крутящих и изгибающих усилий на технические системы, инженерные сети и коммуникации, расположенные внутри несущего ствола. С другой стороны – они ухудшают работу несущего ствола при динамических и ветровых воздействиях. А вспомогательный характер элементов ограждения определяет их низкие прочностные свойства, что, при сильных землетрясениях, ведет к их разрушению.

К счастью, отмечаемые недостатки легко компенсируются:

В первом случае посредством введения специальных металлических и железобетонных обрамлений прорезей, использованием бетона более высоких марок, увеличением поперечного сечения несущего ствола и увеличением процента армирования.

Во втором случае – посредством замены вышедших из строя элементов на новые элементы. А так, как элементы конструктивно просты, являются типовыми или унифицированными, то их замена оказывается простой и относительно недорогой.

В результате получается довольно эффективная и надежная сейсмозащита строительных объектов, которая в настоящее время с успехом используется при возведении небоскребов. И, тем не менее, для нормального функционирования строительного объекта в процессе всего срока его эксплуатации, этого оказывается недостаточно.

Дело в том, что строительные объекты возводятся для удовлетворения потребностей людей. В результате, наряду с обеспечением эффективной и надежной сейсмозащитой строительного объекта дополнительно приходится учитывать еще и человеческий фактор. Причем данный фактор для нас не менее важен и существенен чем обеспечение общей устойчивости строительной системы. Больше того, активная сейсмозащита как раз и вводится для обеспечения безопасности и комфорта людей.

Вследствие чего, наряду с антисейсмическими элементами и системами, в строительную систему дополнительно вводится целый ряд технических элементов и систем, решающих другой круг задач. В частности, например, обеспечивающих пожаробезопасность или экстренную безопасную эвакуацию людей из строительного объекта и т.д.

Таким образом, ряд решаемых технических задач оказывается длиннее и сложнее изначально предусмотренного нами объединение активных систем.

Понятно что, при этом все задействованные технические решения должны быть не только объединены в единую систему, но и еще и согласованы между собой. Что требует обязательного учета влияния вновь вводимых факторов на исходные и соответствующей корректировки общего решения, т.е. требуется комплексный или системный подход к организации эффективной и надежной сейсмозащиты строительного объекта.

В нашем случае, из-за конструктивной гибкости несущего ствола, организованной в уровне первого этажа, строительная система будет реагировать не только на сейсмические воздействия, но и на все другие динамические воздействия, что на практике будет приводить к нежелательной раскачке строительного объекта.

С одной стороны это ведет к дискомфорту людей, находящихся в строительном объекте, с другой – к негативному воздействию на узлы и элементы надземной части, инженерные сети и коммуникации, находящиеся в строительном объекте.

Возможно, из-за меньшей величины динамических воздействий по сравнению с сейсмическим воздействием, разрушений и повреждений основных узлов и элементов это сразу вызовет и меньше. Однако если учесть, что в реальных условиях импульсное ветровое воздействие проявляется чаще и его проявления носят более длительный характер, то суммарное негативное проявление ветрового воздействия для системы в процессе всего срока ее эксплуатации может быть значительным. А это значит, что мы должны техническими мероприятиями либо нейтрализовать, либо компенсировать ветровое воздействие. В качестве нейтрализующей системы можно задействовать гасители колебаний. Рассмотрим это на примере маятникового гасителя, задействованного фирмой Thornton-Tomasetti Engineers совместно с Evergreen Consulting Engineering для стабилизации положения небоскреба «Тайбей 101» (Тайвань) от ветровых и сейсмических подвижек. [8-11]

Инерционный демпфер колебаний, представляющий собой 660-тонный стальной маятник, подвешенный на стропах из высокопрочных тросов на 88-92 этажах. Маятник колеблется, компенсируя движение здания, вызванное сильными порывами ветра. При этом его колебания будут сопровождаться ударными воздействиями на кольцо буфера-ограничителя. К сожалению, с учетом большой массы шара, ударное воздействие шара может достигать существенных величин, что может негативно сказаться на строительной системе и даже ее разрушить. Для компенсации чего, в маятниковую систему, на уровне горизонтальной средней линии, были дополнительно введены восемь вязких демпферов, снабженные амортизирующими пружинами. [8-11]

Следует отметить, что техническая целесообразность амортизирующих пружин обусловлена необходимостью смягчения ударного воздействия инерционного шара на кольцо буфера-ограничителя, а вязких демпферов - для рассеивания механической энергии движения шара в окружающее пространство за счет преобразования ее в тепловую энергию.

Случай вынужденного объединения активных систем рассмотрим на примере комбинации скользящих опор (поясов), включающихся и выключающихся связей.

Принцип работы скользящих опор (поясов) прост и заключается во введении фрикционных элементов 8 (Рис. 1.24, б) с малым трением между нижним 6 и верхним 7 опорными поясами строительного объекта. Обычно в качестве рабочих фрикционных элементов 8 используются

фторопласты, графитовые смазки и полимер-графитовые композиции с малым трением [2, 4, 12]. Простая арифметика показывает, что при трении  $k_{\text{скол.}} = 0.05 \div 0.06$  сейсмическая составляющая может быть снижена от 15.5 до 20 раз. Если исходить из балльности, то снижение силового воздействия может достигать более четырех баллов по сейсмической шкале. [13-15]

Следует отметить, что столь высокими значениями сейсмической эффективности обладают еще только системы качения (с трением качения  $k_{\text{кач.}} = 0.05$ ) [16-17]. Но они сложны в изготовлении, дороже по материалу и эксплуатации, поэтому в строительной практике и менее востребованы. [1-2, 4, 18]

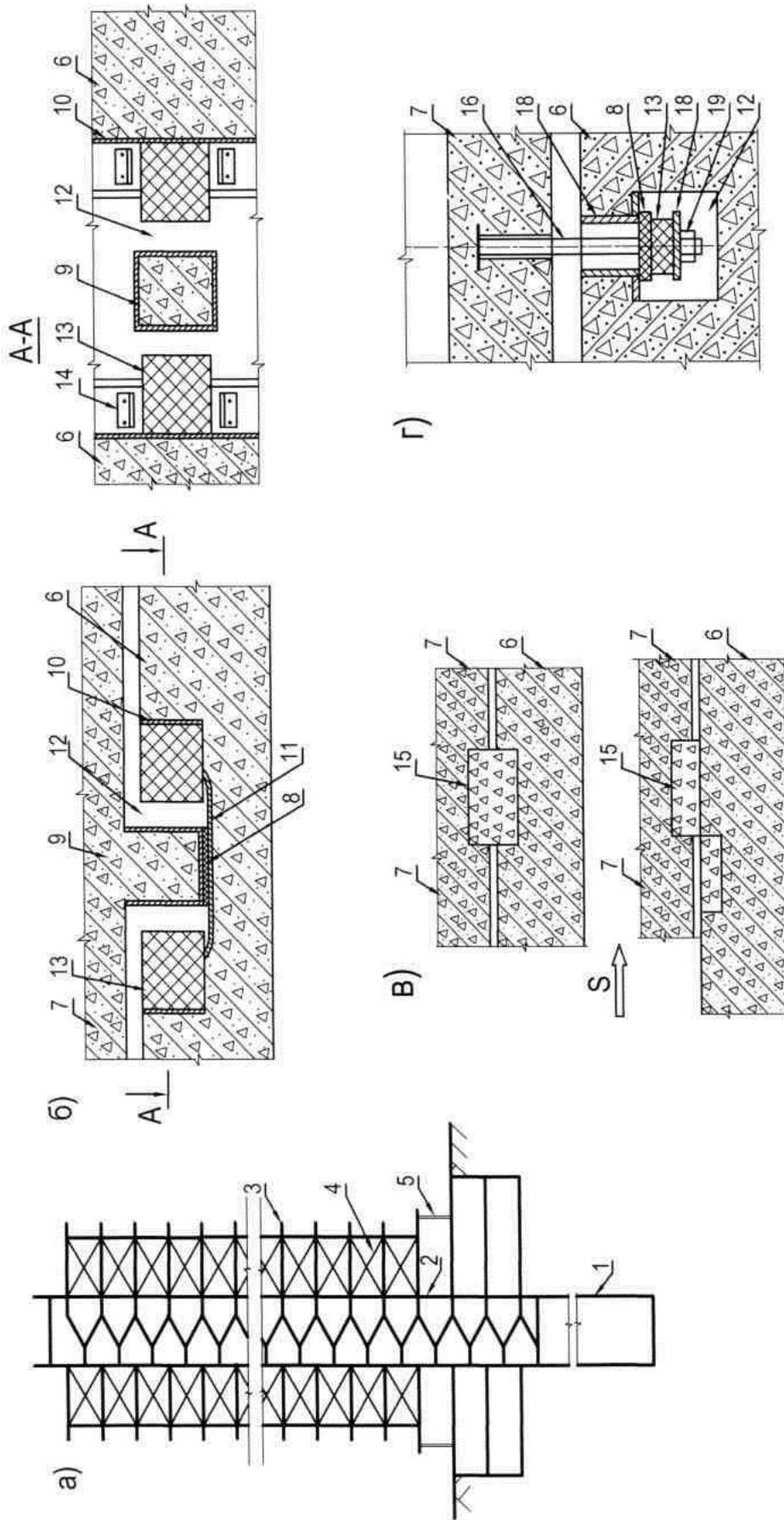
Понятно, что малое трение фрикционных элементов позволяет нам существенно снижать сейсмическое воздействие и, тем самым, это обеспечивает сейсмозащите высокую сейсмическую эффективность. Одновременно с этим, малое трение делает строительную систему довольно чувствительной ко всем горизонтальным подвижкам, вызываемых другими динамическими и ветровым воздействиями. Для того чтобы защитить строительную систему от сползания с фундамента, перемещения по фундаменту искусственно ограничиваются посредством введения в систему упоров-ограничителей (включающихся связей). [1-2, 4]

В варианте, скользящих опор совмещенного типа, разработанных в ЦНИИСК им. Кучеренко совместно с ФПИ, система конструктивно представляет собой ряд металлических или железобетонных упоров 9, устроенных в верхнем опорном поясе 7 или в перекрытии подвала, и жестких ограничителей, выполненных в виде вырезов 12 в нижнем опорном поясе 6 или фундаменте. При горизонтальных подвижках упор 9 приходит в соприкосновение со стеной 10 выреза 12 (ограничителя) в нижнем опорном поясе 6, что ведет к прекращению смещения и защищает систему от сползания. [1-2, 4]

Так как движение системы носит динамический характер, то соприкосновение упора и ограничителя сопровождается соударением или динамическим импульсом. Если учесть, что по интенсивности сейсмические воздействия превосходят статические нагрузки [19-21], то для компенсации разницы силового воздействия нам потребуется корректировка прочности элементов строительной системы. С учетом того, что импульсное воздействие характеризуется величиной, формой и временем воздействия импульса, то вводимая нами компенсация должна состоять из следующих моментов:

Во-первых, чтобы обеспечить необходимые прочностные свойства, места соприкосновения упоры и стенки ограничителя должны быть усилены стальными пластинами 10.

Во-вторых, чтобы обеспечить плавное затухание энергии и, тем самым, смягчить удар, в зазор между упором и ограничителем вводятся упругие амортизаторы 13. Следует отметить, что амортизаторы смягчают негативное воздействие не только на упор и ограничитель, но и на надземную часть строительного объекта. В качестве амортизаторов нередко используются упругие демпфера, в виде резиновых и резинометаллических вкладышей. [1, 4, 22-23]



**Рис. 1.24. Примеры объединенных или комбинированных (агрегатирование) активных систем:**

комбинированный вариант: а) гибко-подвесных зданий; б) скользящих опор снабженных упорами и упругими амортизаторами;

в) выключенная связь; г) вертикальная связь; 1 - фундамент, 2- железобетонный ствол, 3 - подвесные перекрытия, 4 - диафрагмы жесткости, 5 - остекление первого этажа, 6 - нижний и 7 - верхний опорные пояса, 8 - фторопластовая пластина, 9 - упор и опорный выступ, 10 - защитная и 11 - опорная стальная пластина, 12 - вырез в опорном поясе и конструктивный зазор, 13 - упругий амортизатор, 14 - горизонтальная система фиксации, 15 - бетонная шпонка, (саморазрушающаяся связь), 16 - вертикальный шпонка, 17 - защитная гильза, 18 - шайба, 19 - гайка,

К сожалению, использование только упругих амортизаторов, не решает проблемы раскачки строительного объекта, которая будет негативно сказываться на работе строительных систем, инженерных коммуникаций и вызывать дискомфорт людей, находящихся в строительном объекте.

При этом из-за того, что нами рассматриваются объединения систем, работающих на разных физических принципах, то мы не можем напрямую воспользоваться опытом предыдущего рассмотрения - каждое рассмотрение требует индивидуального подхода и учета только ему присущих особенностей. В частности, в нашем случае бесполезно использовать гасители колебаний так, как конструктивно они не способны ограничить и снизить, имеющие место горизонтальные подвижки. Выход один – преднамеренно загрузить систему путем увеличения значения фрикционного трения и, тем самым, сделать систему нечувствительной к горизонтальным подвижкам.

Понятно, что это ухудшит сейсмическую эффективность сейсмоизоляции, и мы вынуждены будем проектировать строительную систему, исходя не только из сейсмического, но и ветрового воздействия. С другой стороны - расчет на ветровое воздействие это обязательный элемент обычного расчета. А значит, вводимое нами загрузка не будут иметь отрицательных последствий ведь стоит сейсмическому воздействию превысить ограничительный порог загрузки, как система тут же придет в движение и сейсмическое воздействие будет автоматически ограничено.

Обычно, в качестве стабилизирующих систем используются выключающиеся связи, которые представляют собой механически саморазрушающиеся элементы и конструкции жесткости (связи). В процессе эксплуатации строительного объекта связи по расчету обеспечивают устойчивость сейсмоизолируемой части. Однако при сильных землетрясениях они выходят из строя, тем самым, возвращают строительной системе исходную свободу перемещения и сейсмическую эффективность.

После землетрясения, строительная система принудительно возвращается в исходное положение, а вышедшие из строя элементы стабилизации или восстанавливаются, или заменяются новыми. Недостаток систем заключается в необходимости их восстановления связей.

Следует особо выделить, что выключающиеся связи - это вспомогательные системы и элементы активной сейсмозащиты, отключение которых не влияет на прочностные характеристики и устойчивость основных несущих конструкций строительного объекта.

К сожалению, конструктивное саморазрушение (выключение) связевых элементов проектируется исходя из прямолинейной, поступательной подвижки строительного объекта. В то время как анализ последствий разрушительных землетрясений показывает, что наряду с поступательными смещениями объекта, имеют место еще и вращательные колебания.

Закручивание негативно сказывается на возможности одновременного выключения (разрушения) связевых элементов, что ведет к еще большему возрастанию эксцентриситета между центром масс и центром жесткости. Как следствие, это ведет к еще большему закручиванию строительного объекта относительно его вертикальной оси. В результате, мы получаем режим работы системы не предусмотренный проектом, что недопустимо. Поэтому применение и использование адаптивных систем на базе выключающихся связей требует высокой культуры их проектирования, строительства и эксплуатации. Правда имеющийся опыт строительства, в определенной мере, облегчает задачу практического использования выключающихся связевых систем в строительной практике.

В качестве иллюстрирующего примера одного из перспективных вариантов выключающихся связей остановимся на системе разрушения ее отдельных частей. Используем для этого ряда саморазрушающихся бетонных шпонок 15 (Рис. 1.24, в), установленных во внутренних полостях верхнего 7 и нижнего 6 опорного поясов строительной системы. По достижению пороговых усилий

значений выше предусмотренных проектом бетонные шпонки или 15 разрушаются, тем самым связь выключаются из работы. После чего сейсмоизолируемый объект работает по схеме основной сейсмозащиты. [1-2, 24-25].

Как видим, пока совокупное применение задействованных технических решений позволило нам обеспечить устойчивость строительной системы в горизонтальной плоскости и снизить горизонтальную составляющую сейсмического воздействия. Однако при этом без разрешения пока осталась задача обеспечения устойчивости в вертикальной плоскости и нейтрализация вертикальной составляющей сейсмической составляющей. К сожалению, успешно разрешить задачу в рамках уже задействованных технических решений, из-за их конструктивных особенностей и возможностей, не представляется возможным – нужны другие решения и подходы.

Следует заметить, что в строительной практике нет эффективных технических средств, которые позволяли бы успешно бороться с негативными проявлениями вертикальной составляющей сейсмического воздействия. Только пружины за счет амортизации и экструзивные демпфера за счет внутреннего трения, в какой-то мере, позволяют нам его снижать. В основном сохранность строительных объектов обеспечивается рядом причин:

Более высокой несущей способностью элементов строительной системы в вертикальной плоскости по сравнению с горизонтальной плоскостью. Все из-за того, что обычно площадь сечения стен в своем вертикальном сечении в разы превосходит площадь поперечного сечения.

Нелинейной работой материала конструкций, элементов и узлов.

Упругостью основания и пространственной упругостью самой строительной системы, которые при этом выступают как упругие амортизаторы.

Трением по боковой поверхности подземной части строения.

И, наконец, из-за того, что в большинстве случаев вертикальная составляющая меньше горизонтальной составляющей.

В качестве конкретного практического примера снижения вертикальной составляющей сейсмического воздействия, остановимся на совмещенном или комбинированном варианте, разработанном ЦНИИСК, ФПИ и Фрунзепроект (1.24, г) [1, 26]. При этом стабилизирующая система представляет собой ряд удерживающих анкеров, состоящих из стержней или тросов 16, один конец которых заканчивается концевым упором в виде шайбы 18 и гайки 20. А другой конец – пропускается через упругий амортизатор 13, фторопластовую пластину 8, защитную гильзу 17 в отверстии нижнего опорного элемента 6, расположенного в уровне перекрытия подвала, и жестко закрепляется в верхнем опорном поясе 7.

При вертикальных подвижках сейсмоизолируемой части упругий элемент амортизатора 13 сжимается до полного исчерпания своих резервов упругости, после чего в работу вступает удерживающий анкер 16, рывком ограничивающий перемещение сейсмоизолируемой части. Таким образом, вследствие запланированного нами рывка, сил упругости сжатого элемента амортизатора 13 и собственного веса, сейсмоизолируемая часть строительного объекта изменит направление своего движения на противоположное, и строительная система займет свое исходное положение. К сожалению, из-за отсутствия смягчающих элементов и систем, обратное возвращение сейсмоизолируемой части будет сопровождаться динамическим ударом. А так как, с учетом большой массы строительного объекта, при динамическом ударе будет выделена значительная кинетическая энергия, то для обеспечения сохранности элементов строительной системы, при проектировании следует заранее предусматривать соответствующие мероприятия по компенсации негативных проявлений от удара.

Кроме этого, при использовании выше отмечаемой комбинированной системы, следует

помнить, она будет срабатывать не только при вертикальных, но и при всех горизонтальных смещениях, выступая в роли дополнительного ограничителя горизонтального смещения.

Аналогично предыдущему случаю рассмотрения за рамками решения остались проблемы пожаробезопасности, быстрой эвакуации людей и т.д. Правда, при этом есть и отличительный момент, наиболее характерный для систем с малым трением - это необходимость обеспечения безопасной работы инженерных сетей и коммуникаций.

Они важная и необходимая составляющая нашей жизни, обеспечивают наш уют и комфорт, удовлетворяют целый ряд наших потребностей. Без инженерных сетей и коммуникаций невозможна нормальная работа и функционирование современных производств, общественных и жилых объектов. Они проходят по земле, под землей, в воде, пронизывают здания и сооружения. С одной стороны, при большой жесткости инженерные сети и коммуникации будут нежелательно для нас фиксировать (стопорить) сейсмоизолируемую часть, т.е. срабатывать как ограничители и, тем самым, снижать сейсмозффективность сейсмозащиты [27].

С другой стороны, при малой жесткости, сети и коммуникации будут деформировать и разрушаться. Их выход, даже в обычных условиях и по отдельности, это серьезная технологическая и социальная проблема, которая еще больше усложняется при одновременном выходе из строя нескольких систем. В частности, при одновременном разрушении газовых и электрических сетей возможно возгорание и пожар, а при разрушении водопровода, канализации и электрических сетей это может сопровождаться поражением людей электрическим током.

Как видим, обеспечение сейсмостойкости это не единственный фактор, требующий своего обязательного разрешения. В частности, из-за необходимости учета человеческого фактора ряд задействованных технических решений получается длиннее и сложнее.

**Из сравнительного анализа конструктивных возможностей активных систем сейсмозащиты и технико-экономического анализа систем следует, что практический интерес для нас могут представлять всего лишь с десятков активных систем. При этом только ранние варианты активных систем на базе песчаных и глинистых подушек и вариант сейсмозащиты с пластическими шарнирами являются самодостаточными, а все остальные системы - требуют совместного использования нескольких систем, т.е. требуется объединение (агрегатирование) систем сейсмоизоляции между собой.**

Сейсмозащита это всего лишь часть строительного объекта, совместно и согласованно работающая с другими частями, элементами и узлами строительной системы, причем решающих иной круг задач. А так как между частями строительного объекта имеет место не только взаимодействие, но и взаимовлияние его систем и элементов друг на друга, то все задействованные технические решения должны быть не только объединены в единую систему, но и еще и согласованы между собой. Что требует обязательного учета влияния вновь вводимых факторов на исходные и соответствующей корректировки общего решения, т.е. требуется комплексный или системный подход к организации эффективной и надежной сейсмозащиты строительного объекта.

Из-за того, что объединяются системы, работающих на разных физических принципах, то нельзя напрямую использовать опыт других объединений - каждое рассмотрение требует индивидуального подхода и учета только ему присущих особенностей.

Комбинированные варианты это наиболее перспективное направление по организации эффективной и надежной сейсмозащиты. Однако, из-за все еще малого пока использования их в строительной практике необходимо дальнейшее изучение объединенных систем путем проведения соответствующих всесторонних экспериментальных и теоретических

**исследований данных систем, совершенствование технологических решений, выполнение комплексного анализа фактических затрат на возведение и эксплуатацию зданий и сооружений с учетом затрат на ремонтные и восстановительные работы после землетрясения.**



## **1. Классификация специальных сейсмозащиты**

### **1.1. Классификация как средство компактного представления сейсмозащиты**

1. Большая Советская энциклопедия.//Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е, М.: 1973, т.12, с. 795.
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Обзор. М. ВНИИИС. 1987 – 65 с.
3. Поляков В.С., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат. 1989 –320 с.
4. Андронов А.А., и др. Теория колебаний. - М.: Наука. Физмат. 1981-568 с.
5. Бутеннин Н.В., и др. Курс теоретической механики. Том. 2 М.: «Наука», 1971. 464 с.
6. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений. Обзор. М. ВНИИИС. 1987 – 66 с.
7. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1979 –320 с.
8. Поляков В.С. Сейсмостойкие конструкции зданий: Учеб. пособ. Для вузов- 2-е изд. М.: Высшая школа. 1983 – 304 с.
9. Плевков В.С., Мальганов А.И., Балдин И.В. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений: Учебное пособие. Под ред. В.С.Плевкова.- М.:Издательство АСВ, 2010. – 290 с.

### **1.2. Специальная сейсмозащита на основе изменения сил упругости**

#### **1.2.1. Системы с упругими опорами и амортизаторами**

##### **1.2.1.1. Системы с «гибкой нижней частью» строительного объекта**

1. Шуази О. История архитектуры. Т.1. М.: Изд-во Академии-архитектуры СССР. 1935. С. 576.
2. Саваренекая Т.Ф. История градостроительного искусства. М.: Стройиздат, 1984.С. 376.
3. Всеобщая история архитектуры. Т. 1. М.: Стройиздат, 1970. С. 512.
4. Джураев А, Эффект газлийских землетрясений в зависимости от грунтовых условий. Ташкент: Фан. 1985. С. 84.
5. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1981. С. 260.
6. Кириков Б.А. Древние и новейшие сейсмостойкие конструкции.- М.: Наука, 1990, 72.
7. Кириков Б.А. Древние и новейшие сейсмостойкие конструкции.- М.: Наука, 1992, 136 с
8. Отчет о научно-исследовательской работе: «Технические решения сейсмостойких жилых зданий с ограждающими конструкциями из мелкоштучных блоков. Разработать предложения по формированию прогрессивных объемно-планировочных и конструктивных решений новых типов жилых домов для строительства в сейсмических районах Крыма.//Кукунаев В.С. и др./Промежуточный. БД-3-95.96. Книга 1 Симферополь «КрымНИИпроект», 1995 г. Стр. 136.
9. Поляков С.В., Сейсмостойкие конструкции зданий: Учебное пособие для вузов.- 2-е изд. М.: Высшая школа, 1983. -304 с.
10. СНиП II-7-81. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах./Гострой СССР. М.: 1982 – 48 с.
11. Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействиям от технологического оборудования и ветра ЦНИИСК им. Кучеренко.//М.: Стройиздат, 1978. – 72 с.
12. Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом и динамическими гасителями колебаний. /ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсевича. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1984, 55 с.

13. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил
14. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
15. Башкиров А.С. Антисейсмизм древней архитектуры. Т.2. Греция. М.: Московский городской пед. ин-тут. Учен. Зап, 1949, 337 с.
16. Большая Советская энциклопедия. (В 30-ти томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: том. 4, 1971 600 с.
17. Джубуа Ш.А., Поляков С.В. Разрушение построек во время землетрясений в г. Скоп-ле.//Техническая информация №24, сер. Строительство и архитектура. Тбилиси: Госстрой/ГССР, 1964, 32 с.
18. Чураян Л.М., Джубуа Ш.И. Сейсмостойкие здания с гибким 1-м этажом.- Жил. Стр-во, 1962. №1, с. 101.
19. Алексеенко Д.А., Бургман И.Н. Инженерный анализ последствий сильных землетрясе-ний.//Строительство и архитектура. Обзорная информация. Серия. Строительные конструкции. М.: ВНИИИИТПИ. 1992. Вып. 3 с. 58.
20. Штейнберг В.В., Плетнев К.Г., Грайзер В.М. Акселерограмма колебаний грунта при разруши-тельном Газлийском землетрясении 17 мая 1976 года.//Сейсмостойкое строительство. Серия XIV. Рефе- ративная информация. Отечественный и зарубежный опыт. М.: ЦИНИС вып. 1, 1977. стр. 45-61.
21. Инженерный анализ последствий землетрясений. Результаты инженерного анализа последствий двенадцати сильных землетрясений (США).//Строительство и архитектура./ Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1987 вып.9. с. 10-15.
22. Hays W.W. The importance of post earthquake investigations.// Earthquake spectra.- 1986. N3. p. 653-667.

### **1.2.1.2. Системы на базе металлических опор сжатия (пружины)**

1. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов: 17000 сл.- М.: «Русские словари»: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 957 с.
2. Базилевский С.В. Защита сооружений от колебаний основания. (ФРГ)/Строительство и архитектура. Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-Информация. М.: ВНИИИС. Вып. 9. с. 2-5.
3. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооруже-ний.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация/ Сер.8. –М.: ВНИИИС, 1987. –Вып.7.-66 с .
4. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.-ISBN 5-274-00256-0
5. Понаморев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980, 326 с
6. Прецензионные сплавы. Справочник./Под ред. Б.В. Молотилова. М.: Metallurgia, 1974, 447 с.
7. Справочник металлиста. Т.2. М.: Машиностроение, 1976, 718 с.
8. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М.: Metallurgia, 1971, 496 с.
9. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов. М.: Машгиз, 1962, 456 с.
10. Гевондян Т.А. Пружинные двигатели. М.: Оборонгиз, 1956, 368 с.

11. Калягина В.И., Ковылин Ю.Я. Определение числа свободных витков спиральных заводных пружин для наручных часов. – Изв. Томского политехнического института, 1975, т. 263 с.
12. Понаморев С.Д. Пружины и рессоры . Детали машин. М.: Машгиз, 1963, Т.2./Под ред. Н.С. Ачеркана, с. 701-744.
13. Пономарев С.Д. Оптимальное проектирование составных пружин сжатия. – В кн. «Прочность материалов и конструкций. Киев, Наукова думка, 1975, с. 264-271.
14. Понаморев С.Д. Расчет и конструкция витых пружин. М.: ОНТИ, 1938, 352 с.
15. Феодосьев В.И. Упругие элементы точного приборостроения. М.: Оборонгиз, 1949. 344 с.
16. Понаморев С.Д. Жесткость тарельчатых пружин при упругом обжатии. – В кн. Расчеты на прочность, М.: Машгиз, 1960. вып. 5, с. 3-14.
17. Андреева Л.Е., Богданова Л.Е. Методы проектирования мембранных упругих элементов.
18. Цейтлин Я.М. Упругие кинематические устройства. М.: Машиностроение, 1972, 296с
19. Андреева Л.Е., Беседа А.И., Богданова Ю.А. Сильфоны. Расчет и проектирование. М.: Машиностроение, 1975, 156 с.
20. Элементы приборов и устройств. Курсовое проектирование. Ч.II, М.: Высшая школа, 1978, 220 с.
21. Большая Советская энциклопедия. (В 30-ти томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: Советская энциклопедия.

### **1.2.1.3. Системы на базе подвесных опор**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация /Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987.–Вып.7.-66 с .
3. Базилевский С.В. Проектирование и строительство сейсмостойких зданий и сооружений. Защита сооружений от колебаний основания.//Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1985 вып.9. с. 2-5.
4. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
5. Зеленков Ф.Д. Дом на сейсмоизоляторах. Ашхабад: Туркмениздат, 1961, с.17
6. Зеленков Ф.Д. Предохранение зданий и сооружений с помощью сейсмоизолятора. М.: Наука, 1979, 59 с.

### **1.2.1.4. Системы на базе резинометаллических опор**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.-ISBN 5-274-00256-0
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация /Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987.  
–Вып.7.-66 с .
3. Казина Г.А. Системы сейсмоизоляции зданий (обзорная статья)//Строительство и архитектура/ Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1986 вып.11 с. 2-6.
4. Базилевский С.В. Система полной сейсмоизоляции (Швейцария)//Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-

информация. М.: ВНИИИС, 1985. вып.21. с. 7-10.

5. Берковская Д.А. Мероприятия по антисейсмической защите конструкций зданий (Франция)// Серия 14,- 1977.- Вып.9. с.10-12.
6. Худошина О.В. Конструкции сейсмоизолирующих фундаментов со слоистыми резинометаллическими опорами (Франция)//Строительство и архитектура. Реф. сб. Сейсмостойкое строительство. Серия 14.-М.: ЦИНИС, 1987.- Вып.4. с.2-6
7. Богданова Е.И. Сейсмоизолированные фундаменты здания реактора атомной электростанции (Франция)//Экспресс информ. Зарубежный опыт./ ВНИИИС. Сер. 14,- 1983.- Вып.4. с.4-7.
8. Базилевский С.В. Резинометаллические сейсмоизолирующие опоры (Новая Зеландия)//Серия 14.  
- 1983.- Вып.4. с.6-9
9. Тыркина О.В. Инструкция по расчету и проектированию сейсмоизолирующих резиновых и резинометаллических опор (Италия)//Сейсмостойкое строительство: Реф. информ./Сер.14 .- М.:ЦИНИС, 1986. –Вып.4. 2-9 с.
10. Понаморев О.И. Защита сооружений от сейсмических воздействий с помощью изолирующих устройств (Франция, США)//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Серия 14, М.: ВНИИИС - 1982.- Вып.3. с.8-10.
11. Тыркина О.В. Конструктивное решение и методы расчета зданий на сейсмоизолирующих опорах из хлоропренового каучука (Франция)//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14. М.: ВНИИИС, 1985. –Вып.14. –1-8 с.
12. Базилевский С.В. Колебания при сейсмическом воздействии оборудования, расположенного в сейсмоизолированных зданиях (США)//Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация (зарубежный опыт). Сер.14. М: ВНИИИС, 1986.-Вып. 6, 6-10 с.
13. Савинов О.А. Применение слоистых резинометаллических опор в системах сейсмоизоляции зданий//Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация (зарубежный опыт). Сер.14. М: ВНИИИТПИ, 1992.-Вып. 2-11 с.
14. Фрикционные фундаментные опоры сейсмостойких сооружений (Франция)/Строительство и архитектура. Реф. сб. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. Серия 14.-М.: ЦИНИС, 1979.- Вып.12. с.1-5
15. Базилевский С.В. Динамические испытания и идентификация параметров моделей железобетонных сейсмостойких рам (США)//Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1985. вып.12. с. 10-13.
16. Базилевский С.В. Использование сейсмоизоляции в конструкциях сооружений атомных электростанций (США)//Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1985 вып.22. с. 2-7.
17. Казина Г.А Экспериментальное исследование здания на сейсмоизолирующих опорах при действии динамических нагрузок (Япония)// Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1984 вып.17. с. 8-10.

### **1.3. Специальная сейсмозащита на основе сил внешнего и внутреннего трения**

#### **1.3.1. Системы с малым трением качения или скольжения**

##### **1.3.1.1. Шаровые опоры**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.-ISBN 5-274-00256-0
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация/ Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.- 66 с .
3. Крагельский И.В., Добычин. М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977г, 526 с. с ил.
4. Крагельский И.В. О двухчленном законе трения. ДАН СССР. 1961, №5, с. 119-127.
5. Билик Ш.М. Пары трения металл-пластмасса в машинах и механизмах. М.: Машиностроение, 1965. 311 с. с ил.
6. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматиздат,1963,472с
7. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машгиз, 1962, 384 с.
8. БЭС Трение внешнее. Стр.182-183
9. Айзенберг Т.Б. и др. Руководство к решению задач по теоретической механике. М.: Высшая школа. 1968. 169 с.
10. Мисюрев М. И. Методика решения задач по теоретической механике.
11. Кобальский М.М. и др. Типовые задачи по теоретической механике.
12. Бать М.И. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т.1 (статика и кинематика) М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1972. 512 с.

##### **1.3.1.2. Шаровые сфероиды или стойки со сферическими концами.**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация /Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.-66 с .
- 3 Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
4. Назин В.В. Новые сейсмостойкие сейсмоизоляционные конструкции и железобетонные механизмы. М.: Стройиздат, 1993 г. 135 стр.
5. Назин В.В. Исследование гравитационной системы сейсмоизоляции с применением эллипсоидов вращения.//Строительство и архитектура: реф. сб./ ЦИНИС. Серия 14- 1974. вып.1, с. 38-40
6. Катен-Ярцев А.С., Назин В.В., Зеленский Г.А., Шуляк Ю.М. Динамические испытания зданий с гравитационными системами сейсмоизоляции в Севастополе.//Строительство и архитектура: реф. сб./ЦИНИС. Серия 14- 1977. вып.7, с. 19-21
7. Черепинский Ю.Д. К сейсмостойкости зданий на кинематических опорах.- Основания, фундаменты и механика грунтов, 1972, №3, с. 23.
8. Назин В.В. Экспериментальные здания в Севастополе на гравитационных системах сейсмоизоляции с включаемым сухим трением.- В кн.: Сейсмостойкое строительство в Узбекской ССР. Ташкент: Фан, 1974, с 111.
9. Приходько Н.Н., Кравченко Р.С. Несущая способность стойки-сфероид кинематического фундамента//Сейсмостойкое строительство: Реф. информ./ ЦИНИС. Сер.14.-1979.-вып.10.-с.18-20.
10. Кравченко Р.С.Экспериментальное изучение несущей способности стойки-сфероид кинематического фундамента//Строительство и архитектура./Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1984 вып.1. с. 18-22.
11. Черепинский Ю.Д. Реакция сейсмоизолируемой системы на кинематический импульс.- В кн.:

Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. Алма-Ата, 1978, с 103. (Тр. КазПСНИИП: вып. 10(20).

### 1.3.1.3. Опоры или пояса скольжения.

1. Билик Ш.М. Пары трения металл-пластмасса в машинах и механизмах. М.: Машиностроение, 1965 311 с. с ил.
2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М: Физматиздат, 1963, 472 с
3. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил.
4. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация/ Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.-66 с .
5. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
6. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Математические модели для расчета зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте.//Строительство и архитектура. Серия 13.59. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация/М.: ВНИИИС, 1983.- Вып.8. – 1-5 с.
7. Чуднецов В.П., Солдатова Л.Л. Здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1979. - Вып. 5.-1-3 с.
8. Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом и динамическими гасителями колебаний. /ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсеванова. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1984, 55 с.
9. Солдатова Л.Л. Исследование работы одномассовой модели здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и пружинными ограничителями перемещений.//Строительство и архитектура: Реферативный сборник. Серия 14. Сейсмостойкое строительство. М.: ЦИНИС., Вып. 5, 1979, с 15-18.
10. Килимник Л.Ш., Штритер К.Ф. Крупнопанельные дома с сейсмоизолирующим конструктивным решением.// Жилищное строительство, 1987 №1
- 11 Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Ляхина Л.И. Анализ работы зданий со скользящим поясом с использованием многомассовой расчетной модели.//Строительная механика и расчет сооружений. 1986, № 6.
12. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте. М.: Стройиздат, НТО стройиндустрии, 1984. с.31.
13. Брянцева Н.В. Совершенствование и внедрение конструктивных решений зданий с системами сейсмоизолирующих скользящих опор.//Архитектура и строительство. Строительные конструкции и материалы: Экспресс-информация./ М.: ВНИИТПИ, 1991. - Вып.10. – 2-6 с.
14. Поляков С.В. Килимник Л.Ш. Солдатова Л.Л. Исследование зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом.//Строительная механика и расчет сооружений.- 1982. № 4.- С. 47-51.
15. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Математические модели для расчета зданий с сейсмоизолирующими скользящим поясом в фундаменте.//Строительство и архитектура. Серия 13.59. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация/М.: ВНИИИС, 1983.- Вып.8. – 1-5 с.
16. Чуднецов В.П., Солдатова Л.Л. Здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1979.- Вып.5.-1-3 с.



СССР. М.: 1982 – 48 с.

22. Государственные строительные нормы Украины. Защита от опасных геологических процессов, вредных эксплуатационных влияний, от пожара. Строительство в сейсмических районах Украины. ДБН В.1.1-12:2006. Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К.:2006 г. 92 с.

### **1.3.2.2. Демпферы сухого трения на базе сухих стыков.**

1. Михайлов Г.М., Жуков В.В. Использование упруго-фрикционных систем в сейсмостойком строительстве.//Серия «Инженерно оборудование населенных мест, жилых и общественных зданий». М.: ЦНИИЭП по гражданскому строительству и архитектуре, 1975, 42 с.
2. Михайлов Г.М. Использование упруго-фрикционных систем в сейсмостойком строительстве.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1974.-Вып.3. с. 36-38.
3. Михайлов Г.М. Свободные колебания объемно-блочного здания с повышенными диссипативными свойствами.//Строительная механика и расчет сооружений, 1974, № 5, с. 50-52.
4. Подольский В.Г. Внутренние усилия в системе с сухим трением при импульсной нагрузке.//Строительная механика и расчет сооружений, 1972, № 2, с. 16-18.
5. Саакян О.А., Саакян Р.О., Газарян Ю.Х. Повышение сейсмостойкости каркасных зданий со стволками жесткости с помощью демпферных устройств.// Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1975.- Вып.11. с. 2-5.
6. Тыркина О.В. Конструктивная система GN/PI сейсмостойкого здания с преднапряженными железобетонными панельными стенами (Италия).//Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация (зарубежный опыт). Сер.14. М.: ВНИИИС, 1985.-Вып.20. с. 2-5.
7. Хачиян Э.Е., Мекумян М.Г. Исследование взаимодействия железобетонных рам и диафрагм жесткости при статическом и динамическом нагружении.//Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация (отечественный опыт)./ Сер.14. М.: ВНИИИС, 1983.-Вып.9. с. 16-20.
8. Джубуа Ш.А., Чураян А.Л. Соединение панелей в вертикальных швах сейсмических крупнопанельных зданий. Издательство «Мецниереба», Тбилиси, 1968, 107 с.5
9. Михайлов Г.М., Жуков В.В. Конструкция фрикционного соединения в сейсмостойком здании из объемных блоков.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1974.- Вып.6. с. 3-5.
10. Михайлов Г.М., Жуков В.В. Стыки объемных блоков в сейсмостойких зданиях.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1974.-Вып.6. с. 3-5.
11. Чануквадзе Г.Ш., Марджанишвили Л.М. Проект экспериментального 16 этажного каркасно-панельного жилого здания с фрикционными стенами-диафрагмами.//Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация (отечественный опыт)./Сер.14. М.: ВНИИИС, 1984.-Вып.5. с. 1-4.

### **1.3.2.3. Пластические шарниры.**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил 2. Всеобщая история архитектуры. Т. 1. М.: Стройиздат, 1970. С. 512.
2. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий.- Алма-Ата: Казахстан, 1985.- 120 с.

3. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Современные конструкции металлических каркасов многоэтажных зданий для сейсмических районов. Обзор. М.: ВНИИИС, 1983.- 60с.
4. Строительство и архитектура. Сер. 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1980. Вып. 6, с. 13-15.
5. Строительство и архитектура. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1976. Вып. 7, с. 13-14.
6. Строительство и архитектура. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1976. Вып. 4, с. 8-13.
7. Строительство и архитектура. Сер. 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс информация. ВНИИИС, 1985. Вып. 3, с. 1-4.
8. Строительство и архитектура. Сер. 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1980. Вып. 2, с. 9-12.

#### **1.3.2.4. Элементы повышенной деформативности (энергопоглотители).**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил 2. Всеобщая история архитектуры. Т. 1. М.: Стройиздат, 1970. С. 512.
2. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Стальные сейсмостойкие каркасы многоэтажных зданий.- Алма-Ата: Казахстан, 1985.- 120 с.
3. Остриков Г.М., Максимов Ю.С. Современные конструкции металлических каркасов многоэтажных зданий для сейсмических районов. Обзор. М.: ВНИИИС, 1983.- 60с.
4. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1975. Вып. 5, с. 11-15.
5. Строительство и архитектура. Сер. 14. . Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1979. Вып. 12, с. 11-17
6. Строительство и архитектура. Сер. 14. . Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1979. Вып. 11, с. 11-13
7. Строительство и архитектура. Сер. 14. . Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1979. Вып. 10, с. 14-15
8. Строительство и архитектура. Сер. 14. . Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация. Зарубежный опыт. ВНИИИС, 1989. Вып. 7, с. 20-24.

#### **1.3.2.5. Экструзивные демпфера.**

1. Экструзия. Стр. 915. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов: 17000 сл.- М.: ООО «Русские словари»: ООО «Изд-во Астрель»: ООО «Изд-во АСТ», 1003, 957 с
2. Свинец. Стр. 77. Большая Советская энциклопедия. (В 30-ти томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: Советская энциклопедия: Том 24, 1976, 609. с., 30 илл.
3. Б.А. Кириков. Сейсмостойкость древних сооружений. — М.: Наука 1992, 136 с.
4. Древнейшие и новейшие сейсмические конструкции./Б.А. Кириков – М.: Наука 1990. 72 стр.
5. Всеобщая история архитектуры. Т.2. М.: Стройиздат, 1973, с. 719.
6. Строительство и архитектура. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1976. Вып. 6, с. 9-11.
7. Строительство и архитектура. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. Отечественный и зарубежный опыт. ЦИНИС, 1976. Вып. 6, с. 12-15.
8. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил

### **1.3.2.6. Демпфера вязкого трения.**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.// Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация./ Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.-66 с .
3. Жидкость- Википедия.//<http://ru.wikipedia.org/wiki/%C6%E8%E4%EA%EE%F1%F2%FC>
4. Ф.А.Брокгауз, И.А.Ефрон. Энциклопедический словарь//<http://infolio.asf.ru/Sprav/Brokgaus/1/1046.html>
5. Большая Советская энциклопедия. (В 30-ти томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: Советская энциклопедия: Том. 5, с. 604-605.
6. Большая Советская энциклопедия. (В 30-ти томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: Советская энциклопедия: Том. 5, с. 604-605.
7. Словарь иностранных слов. 9-е изд. Испр. – М.: Русский язык, 1982 – 608 с.
8. Демпфер -Википедия.//<http://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%E5%EC%EF%F4%E5%F0>
9. Амортизатор - Википедия.//<http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%EC%EE%F0%F2%E8%E7%E0%F2%EE%F0>
10. Ликбез>Техника>Амортизаторы.//<http://jffroadclub.ru/faq/technic/amortizatory.html>
11. Амортизаторы подвески//<http://www.maestria.ru/tyuning-vaz-stati/amortizatoryi-podveski.html>
12. Устройство амортизаторов. //<http://www.sproks.cjm/rus/articles/structure.html>
13. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий сооружений. – Обзор, М.: ВНИИИС, 1987. 66 с.
14. Базилевский СВ. Защита сооружений от колебаний основания (ФРГ)//Строительство и архитектура/ Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Экспресс-информация, 1985, вып. 9, с. 2-5
15. Справочник по динамике сооружений. Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1972, 511 с.
16. Руководство по проектированию виброизоляции машин и оборудования. – М.: Стройиздат, 1972. – 159 с.
17. Полиметилсилоксановые жидкости (масла). ПМС//<http://www.penta-91.ru/polymethylsiloxone/html>
18. ГОСТ 13032-77 Жидкости полиметилсилоксановые. Технические условия//<http://vsegost.cjv/Catalog/33/33567.shtml>

## **1.4. Активная сейсмозащита на основе программного изменения силового воздействия**

### **1.4.1. Адаптивные системы**

#### **1.4.1.1. С выключающимися связями**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.
2. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.// Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация./ Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.-66 с .
3. Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмозащиты сооружений. - М: Наука, 1978 – 246

с.

4. Айзенберг Я.М., Ногай Р.В. методика исследования соударений зданий с ограничителями перемещений при сейсмических воздействиях.//ЭИ, ВНИИИС, 1984, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 3.
5. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. - М: Стройиздат, 1976 г. 232 с.
6. Делгина М.М., Мелентьев А.М. Динамические испытания фрагмента здания с выключающимися связями во Фрунзе.//НТРС, ВНИИИС, 1982, сер. 14, вып. 2.
7. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
8. Айзенберг Я.М., Бирюков В.М. Экспериментальный проект девятиэтажного крупнопанельного здания с выключающимися связями в Душанбе.// ЭИ, ВНИИИС, 1984, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 3, с. 1-4.
9. Степанов А.Ю. Лабораторные испытания модели сооружения с выключающимися связями. ЭИ, ВНИИИТПИ, 1993, сер. 14. Отеч. и заруб. опыт, вып. 2, стр. 27-39.
10. Айзенберг Я.М., Мелентьев А.М. Экспериментальное исследование системы сейсмоизоляции с выключающимися связями. В кн.: Сейсмостойкое строительство. М.: ЦИНИС, 1981, вып. 4, серия XIV, с 13-16.
11. Абдурашидов К.С. Натурные исследования колебаний зданий и сооружений и методы их восстановления. Ташкент: Фан, 1974, 243 с.
12. Айзенберг Я.М., Нейман А.И., Абакаров А.Д. и др. Адаптивные системы сейсмозащиты сооружений. М.: Наука, 1978, с. 183-203 с.
13. Хаузнер ДЖ. Свойства сильных землетрясений. – В кн.: Слабые землетрясения. М.: Из-во иностранной литературы, 1961, с. 17
14. Корчинский И.Л. Влияние протяженности (в плане) здания на величину возникающей в нем сейсмической нагрузки. – В кн.: Сейсмостойкость промышленных зданий и инженерных сооружений. М.: Гос- тройиздат. 1962, с.14.
15. Корчинский И.Л., Бородин Л.А. и др. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Стройиздат, 1971, 316 с.
16. Поляков С.В., Кириков Б.А., Поляков В.С. К оценке динамических характеристик зданий с учетом податливости перекрытий. – В кн.: Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. М.: 1974. С 44. (тр. ЦНИИСК, вып. 33)
17. Айзенберг Я.М., Делгина М.М. Динамические испытания систем с выключающимися связями и упорами-ограничителями. – В кн. Сейсмостойкое строительство. М.: ЦИНИС, 1977, вып. 1, серия XIV с. 18-22 с.
18. Егорова Э.Б. Изучение работы горизонтальных «сухих» стыков сейсмостойких крупнопанельных зданий на действие сдвигающих сил.// ЭИ, ВНИИИС, 1985, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 10.
19. Неймарк Л.И., Нудьга И.Б. Конструктивное решение экспериментальных сейсмостойких зданий с «сухими» стыками.// ЭИ, ВНИИИС, 1985, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 10.
20. Заборова М.В. Конструкции сейсмоизолирующих фундаментов зданий. (Обзорная Статья).//ЭИ, ВНИИИС, 1984, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 1., стр. 2-6.
21. Зеленский Г.А., Катен-Ярцев, Назин В.В. Демпфирование колебаний зданий с гравитационной сейсмоизоляцией на кинематических фундаментах.// ЭИ, ЦИНИС, 1977, сер. XIV. Отеч. и заруб, опыт, вып. 9, с 27-33.
22. Абакаров А.Д. Исследование оптимальных параметров систем сейсмозащиты с выключающимися связями и ограничителями перемещений по критерию надежности на ЭВМ методом Монте-Карло// Расчет и проектирование зданий для сеймоопасных районов на основе

оценок оптимальной надежности и сейсмического риска: Сборник научных трудов – М.: Наука, 1988. – с 108-114

#### **1.4.1.2. С включающимися связями**

1. Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмозащиты сооружений. - М: Наука, 1978 – 248 с.
2. Айзенберг Я.М., Делгина М.М. Динамические испытания систем с включающимися связями и упорами-ограничителями. – В кн. Сейсмостойкое строительство. М.: ЦИНИС, 1977, вып. 1, серия XIV с. 18-22 с.
3. Айзенберг Я.М., Ногай Р.В. методика исследования соударений зданий с ограничителями перемещений при сейсмических воздействиях.//ЭИ, ВНИИИС, 1984, сер. 14. Отеч. опыт, вып. 3.
4. Айзенберг Я.М., Нейман А.И., Абакаров А.Д. и др. Адаптивные системы сейсмозащиты сооружений. М.: Наука, 1978, с. 183-203 с.
5. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений./Обзор. М.: ВНИИИС. 1987. – 66 с.
6. Поляков В.С., Л.Ш. Килимник., А.В. Черкашин. Современные методы сейсмозащиты зданий. – М.: Стройиздат, 1989. -320 с.
7. Поляков В.С. Колебания систем с включающимися связями и динамическим гасителем колебаний при сильных землетрясениях.//Сейсмостойкое строительство: Реф. Сб./ЦИНИС. Сер. 14. 1978- вып.2. с. 28-33.
8. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.

#### **1.4.2. Системы с гасителями колебаний.**

##### **1.4.2.1. Маятниковые гасители.**

1. Елисеев С.В. Нерубко Г.П. Динамические гасители колебаний. – Новосибирск: Наука, 1982. 144с.
2. Корнев Б.Г., Блехерман А.Н., Осроумов Б.В. Об экспериментальном определении параметров маятникового динамического гасителя колебаний.//Строительная механика и расчет сооружений. 1972- № 2. – с 66-67.
3. Немчинов Ю.И. и др. Опыт гашения колебаний конструкций и их элементов//Строительная механика и расчет сооружений. 1984- № 1. – с 68-70.
4. Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействием от технологического оборудования и ветра –М.: Стройиздат, 1978. 67 с.
5. Поляков В.С. К вопросу об эффективности динамического гасителя колебаний при сейсмических воздействиях.//Строительная механика и расчет сооружений. 19804- № 5. – с 49-53.
6. Поляков В.С. и др. Современные методы сейсмозащиты зданий/В.С. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашин. – М.: Стройиздат, 1989.-320 с.
7. Тайбей 101 в городе Jiurokou - туристические достопримечательности @Travel Advisor//<http://ru.advisor.travel/poi/5747>
8. Тайбей 101- Википедия//[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B9%D0%B1%D1%8D%D0%B9\\_101](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B9%D0%B1%D1%8D%D0%B9_101)
9. Тайбей 101-Будник Групп (киев)//<http://www.buddom.com.ua/?m=285>
10. Тайбей 101//<http://geograhyaofrussia.ru./tajibej-101>

#### **1.4.2.2. Скользящие гасители.**

1. Елисеев С.В. Нерубко Г.П. динамические гасители колебаний. – Новосибирск: Наука, 1982. -144 с.
2. Коренев Б.Г., Блехерман А.Н., Осроумов Б.В. Об экспериментальном определении параметров маятникового динамического гасителя колебаний.//Строительная механика и расчет сооружений. 1972- № 2. – с 66-67.
3. Немчинов Ю.И. и др. Опыт гашения колебаний конструкций и их элементов//Строительная механика и расчет сооружений. 1984- № 1. – с 68-70.
4. Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействием от технологического оборудования и ветра –М.: Стройиздат, 1978. 67 с.
5. Поляков В.С. К вопросу об эффективности динамического гасителя колебаний при сейсмических воздействиях.//Строительная механика и расчет сооружений. 19804- № 5. – с 49-53.
6. Поляков В.С. и др. Современные методы сейсмозащиты зданий/В.С. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашин. – М.: Стройиздат, 1989.-320 с.

#### **1.4.2.3. Комбинированные гасители.**

1. Елисеев С.В. Нерубко Г.П. динамические гасители колебаний. – Новосибирск: Наука, 1982. -144 с.
2. Коренев Б.Г., Блехерман А.Н., Осроумов Б.В. Об экспериментальном определении параметров маятникового динамического гасителя колебаний.//Строительная механика и расчет сооружений. 1972- № 2. – с 66-67.
3. Немчинов Ю.И. и др. Опыт гашения колебаний конструкций и их элементов//Строительная механика и расчет сооружений. 1984- № 1. – с 68-70.
4. Рекомендации по проектированию гасителей колебаний для защиты зданий и сооружений, подверженных горизонтальным динамическим воздействием от технологического оборудования и ветра –М.: Стройиздат, 1978. 67 с.
5. Поляков В.С. К вопросу об эффективности динамического гасителя колебаний при сейсмических воздействиях.//Строительная механика и расчет сооружений. 19804- № 5. – с 49-53.
6. Поляков В.С. и др. Современные методы сейсмозащиты зданий/В.С. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашин. – М.: Стройиздат, 1989.-320 с.

#### **1.5. Комбинированные варианты систем сейсмозащиты**

1. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Черкашин А.В. Современные методы сейсмозащиты зданий. М.: Стройиздат, 1989.-320 с.: ил
2. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
3. Чураян Л.М., Джубуа Ш.И. Сейсмостойкие здания с гибким 1-м этажом.- Жил. Стр-во, 1962. №1, с. 101.
4. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений.//Строительство и архитектура. Строительные конструкции: Обзорная информация /Сер.8. –М.: ВНИИИС,1987. –Вып.7.-66 с .

5. Алексеенко Д.А., Бургман И.Н. Инженерный анализ последствий сильных землетрясений.//Строительство и архитектура. Обзорная информация. Серия. Строительные конструкции. М.: ВНИИИНТПИ. 1992. Вып. 3 с. 58.
6. Зеленков Ф.Д. Предохранение зданий и сооружений с помощью сейсмоизолятора. М.: Наука, 1979, 59 с.
7. Монолитные железобетонные конструкции зданий повышенной этажности. Строительные конструкции. Обзорная информация. Зарубежный опыт № 10, 1985 г
8. Тайбей 101 в городе Jiurokou - туристические достопримечательности @Travel Advisor//<http://ru.advisor.travel/poi/5747>
9. Тайбей 101- Википедия//[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B9%D0%B1%D1%8D%D0%B9\\_101](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B9%D0%B1%D1%8D%D0%B9_101)
10. Тайбей 101-Будник Групп (киев)//<http://www.buddom.com.ua/?m=285>
11. Тайбей 101//<http://geographyofrussia.ru/tajibej-101>
12. Билик Ш.М. Пары трения металл-пластмасса в машинах и механизмах. М.: Машиностроение, 1965 311 с. с ил.
13. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Математические модели для расчета зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте.//Строительство и архитектура. Серия 13.59. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство: Экспресс-информация/М.: ВНИИС, 1983.- Вып.8. – 1-5 с.
14. Рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом и динамическими гасителями колебаний. /ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП им. Герсеванова. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1984, 55 с.
15. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте. М.: Стройиздат, НТО стройиндустрии, 1984. с.31.
16. Крагельский И.В., Добычин. М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977г, 526 с. с ил.
17. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машгиз, 1962, 384 с.
18. Назин В.В. Новые сейсмостойкие сейсмоизоляционные конструкции и железобетонные механизмы. М.: Стройиздат, 1993 г. 135 стр.
19. Справочник по динамике сооружений.//Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1972, 511 с.
20. Удар. - Википедия//<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D3%E4%E0%F0%>
21. Прочность при динамических нагрузках.//<http://www.soprotmat.ru/dinamika/htm>
22. Чуднецов В.П., Солдатова Л.Л. Здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–
23. Чуднецов В.П., Солдатова Л.Л. Здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений.//Сейсмостойкое строительство: Реф. сб./Сер.14.–М.: ЦИНИС, 1979.-Вып.5.-1-3 с.
24. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты.//Под ред. Айзенберга Я.М. М.: Наука, 1983.
25. Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмозащиты сооружений. - М: Наука, 1978 – 246 с.
26. Поляков С.В., Килимник Л.Ш., Солдатова Л.Л. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим поясом в фундаменте.-М.: Стройиздат, 1984, 32 с.
27. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. - М: Стройиздат, 1976 г. 232 с.
28. Понаморов С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машино-

строение, 1980, 326 с

29. Андреева Л.Е., Богданова Л.Е. Методы проектирования мембранных упругих элементов.