

## Лекция 14

### ГАСИТЕЛИ КОЛЕБАНИЙ

*14.1. Общие сведения*

*14.2. Ударные гасители колебаний*

*14.3. Динамические гасители колебаний*

#### 14.1. Общие сведения

Гасители колебаний относятся к специальным устройствам, применяемым для снижения уровня вибраций защищаемой конструкции. При работе гасителя энергия колебаний защищаемой конструкции передается гасителю, который благодаря этому колеблется с повышенной амплитудой. Применяются в строительстве для снижения колебаний сооружений, подверженных динамическим воздействиям от технологического оборудования и ветра. Гасители колебаний бывают активного и пассивного типа. Применение активного гасителя позволяет добиться максимального эффекта в снижении колебаний, однако конструкция такого гасителя обладает определенной сложностью, дорога и ненадежна в эксплуатации. По этим причинам гасители активного типа не нашли применения в практике строительства. В будущем при разработке более простых и надежных конструкций активного гасителя, а также при возрастании культуры строительного производства, такой тип гасителя, возможно, получит право на внедрение в практику строительства.

В активных гасителях колебаний затрачивается дополнительная энергия на включение рабочей массы гасителя в работу с целью ее колебаний с необходимой частотой. Пример гасителя колебаний с активной массой приведен на рис. 14.1 [27].

В настоящее время более экономичным является применение в строительстве гасителей пассивного типа, обладающих свой-

ствами автономности и относительной безотказности в работе. По характеру взаимодействия гасителя с защищаемой конструкцией различают ударные и динамические гасители колебаний.

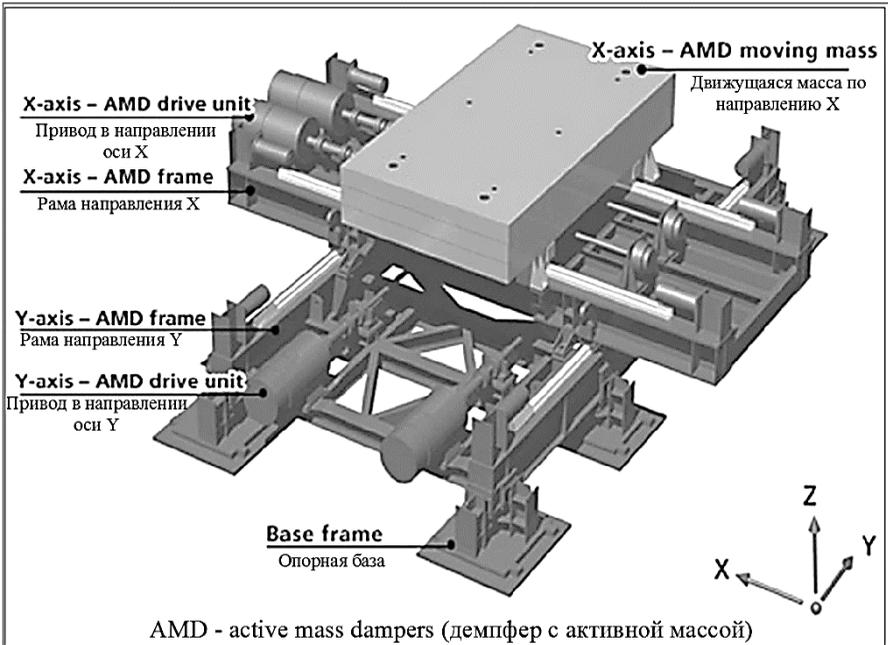


Рис. 14.1. Пример двухосного активного гасителя колебаний

## 14.2. Ударные гасители колебаний

Для виброзащиты сооружений ударные гасители колебаний нашли применение сравнительно давно. Простота устройства и надежность в эксплуатации делают эти гасители удобными для применения в башенных сооружениях. Принципиальные схемы ударных гасителей колебаний представлены на рис. 14.2 [4]. Работа ударных гасителей колебаний принципиально заключается в ударе массы по конструкции для резкого изменения динамических характеристик конструкции.

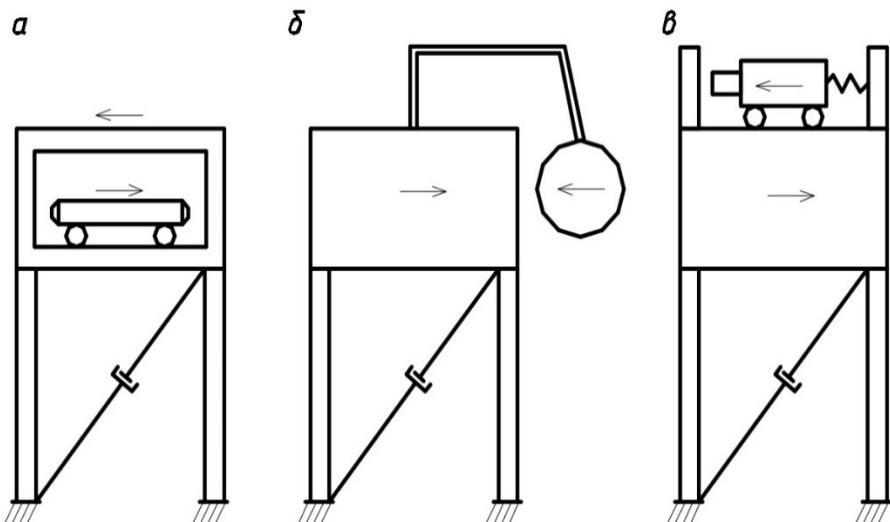


Рис. 14.2. Принципиальные схемы ударных гасителей колебаний: *а* – плавающего; *б* – маятникового; *в* – пружинного типов

### 14.3. Динамические гасители колебаний

Динамические гасители колебаний широко используются в практике виброзащиты сооружений. Особенность системы сейсмозащиты – введение дополнительной массы, соединяемой с несущими конструкциями упругими связями и демпфирующими элементами. В случае совпадения основного периода собственных колебаний здания с одним из преобладающих периодов сейсмического воздействия, масса гасителя начинает совершать колебания с амплитудами, значительно превышающими амплитуды колебаний здания. Возникающие при этом упругие и диссипативные силы в элементах гасителя, воздействуя на здания, уменьшают амплитуды его колебаний.

Снижение расчетных сейсмических нагрузок путем применения динамических гасителей составляет 20–30 %, при этом повышается надежность работы конструкций, уровень комфортности людей в помещениях.

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

Пружинный гаситель (рис. 14.3, *а*) состоит из массивного блока, который опирается на перекрытие здания через скользящие опоры (пластины с достаточно низким коэффициентом трения), и стальных пружин, размещаемых между блоком и несущими конструкциями здания или специальными упорами. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается за счет сил сухого трения в скользящих опорах, возникающих при относительных перемещениях массы гасителя. В случае необходимости (по расчету) параллельно пружинам дополнительно устанавливаются вязкие демпферы.

Маятниковый гаситель (рис. 14.3, *б*) состоит из блока, подвешенного на жестких тросах, которые жестко заделаны в точках подвеса. Частота собственных колебаний маятникового гасителя регулируется изменением длины тросов, а затухание в гасителе обеспечивается за счет внутреннего трения, возникающего при изгибных деформациях верхней части тросов при колебаниях массы гасителя. В случае необходимости затухание в гасителе может быть увеличено за счет создания промежуточных опор в верхней и нижней частях троса.

Комбинированный гаситель (рис. 14.3, *в*) состоит из блока, который крепится к несущим конструкциям здания с помощью гибких подвесок и стальных пружин. Частота собственных колебаний комбинированного гасителя регулируется за счет изменения жесткости стальных пружин. Требуемое затухание в гасителе обеспечивается установкой вязких демпферов.

Динамические гасители колебаний могут применяться как для снижения расчетных сейсмических нагрузок на несущие конструкции зданий, так и для повышения надежности особо ответственных зданий, при этом расчетные нагрузки на такие здания не снижаются. Для здания повышенной этажности с металлическим каркасом в случае применения гасителя расчетная

горизонтальная сейсмическая нагрузка на здание может быть снижена на балл, а для зданий с железобетонным каркасом соответственно на половину балла.

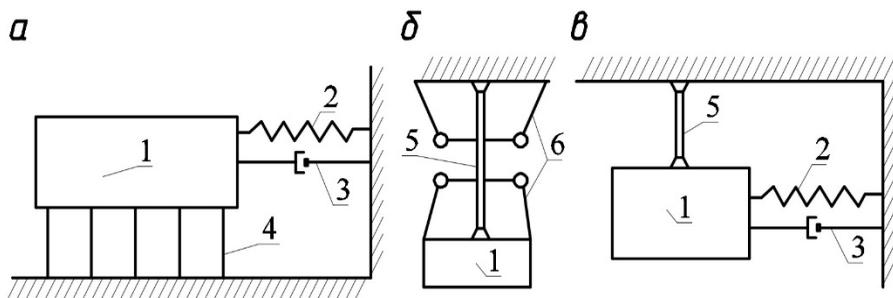


Рис. 14.3. Принципиальные схемы динамических гасителей колебаний:  
*а* – пружинного; *б* – маятникового; *в* – комбинированного типов;  
 1 – груз; 2 – пружина; 3 – вязкий демпфер; 4 – скользящая опора;  
 5 – жесткий трос; 6 – дополнительная опора

Применение гасителей для высоких зданий в сейсмических районах оправдано еще и тем, что один и тот же гаситель снижает реакцию здания как на сейсмическое воздействие, так и на ветровое.

Примером применения динамических гасителей колебаний может быть небоскреб Taipei 101 (Тайвань) высотой 509,2 м.

На башне специалисты установили крупнейший в мире пассивный монолитный демпфер, настроенный на колебания с определенной частотой. Он представляет собой 660-тонный шар-маятник, внутри которого расположена 41 стальная пластина, закрепленный на 92 этаже и играющий роль гасителя колебаний здания (рис. 14.4).

Сам шар удерживается стальными канатами и рессорами и может перемещаться во всех направлениях, работая по принципу маятника и препятствуя деформации здания, которую могут спровоцировать землетрясения или сильный ветер. При нормальных условиях амплитуда колебаний этого шара находится в пределах 10 сантиметров.



*Рис. 14.4.* Гаситель колебаний небоскреба Таирей 101

В случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна, что бывает примерно раз в сто лет, шар будет раскачиваться с амплитудой 1,5 метра и встретит кольцо буферограничителя, который снабжен 8 дополнительными демпферами, именуемыми задержниками. Словно огромная паутина, сверхмощные колонны окружает гибкая стальная решетчатая

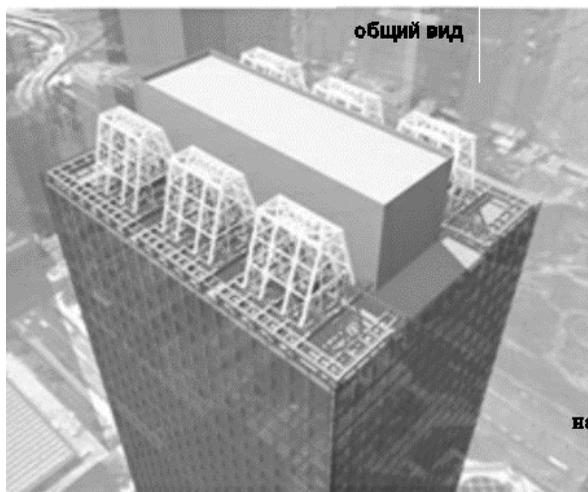
система, которая должна изгибаться во время землетрясения. Благодаря этой системе обеспечивается наружный уклон стен здания и повторяется форма перевернутой пирамиды.

Динамические гасители колебаний могут применяться как самостоятельная система сейсмозащиты, так и в сочетании с другими системами сейсмозащиты.

Примером применения динамических гасителей колебаний совместно с другими системами (вязкими демпферами, см. лекцию 15) может служить система сейсмозащиты здания Shinjuku Mitsui (Япония, проект планируется завершить в 2015 г.) [28]. Гашение колебаний здания обеспечат шесть маятников, масса каждого из которых 300 тонн (общая масса 1800 тонн). Маятники установлены на крыше здания. Также в уровне нижних этажей планируется установка 48 демпферов вязкого трения. Устройства сейсмозащиты предназначены для присоединения дополнительной массы к зданию и оптимальной настройки собственной частоты системы (здание – присоединенная масса) и, следовательно, достижению цели отклонения собственной частоты системы от частоты движения грунта при возможном сейсмическом воздействии (исключении резонансных явлений). Основные элементы системы приведены на рис. 14.5.

В мировой практике строительства также встречаются оригинальные решения, не относящиеся в чистом виде к динамическим гасителям колебаний, но реализующим те же функции.

Примером такого решения может служить система защиты от тихоокеанских ветров и землетрясений самого высокого жилого здания в Сан-Франциско – One Rincon Hill (195 м). На крыше здания расположен резервуар, вмещающий 189250 литров воды, его вес составляет 185440 кг. В резервуаре установлены специальные перегородки для регулирования движения жидкости. Задача данного гасителя колебаний, в котором активной массой служит жидкость, повторяет задачи вышеописанных динамических гасителей колебаний. Общий вид здания и гасителя колебаний представлен на рис. 14.6.



направление движения здания

динамический гаситель колебаний расположенный на

Structural diagram of Ultra-Large TMD Vibration Control Device

Схема очень большого устройства для контроля колебаний

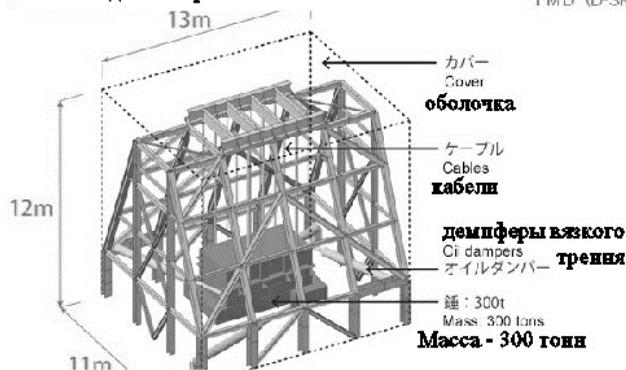
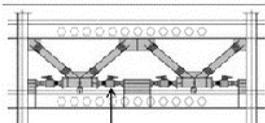


Схема расположения высокоэффективных вязких демпферов

Structural diagram of high-performance oil damper

高性能オイルダンパー姿図



HiDAX-e

Rooftop TMD (D<sup>2</sup>SKY) 屋上

TMD (D<sup>2</sup>SKY)

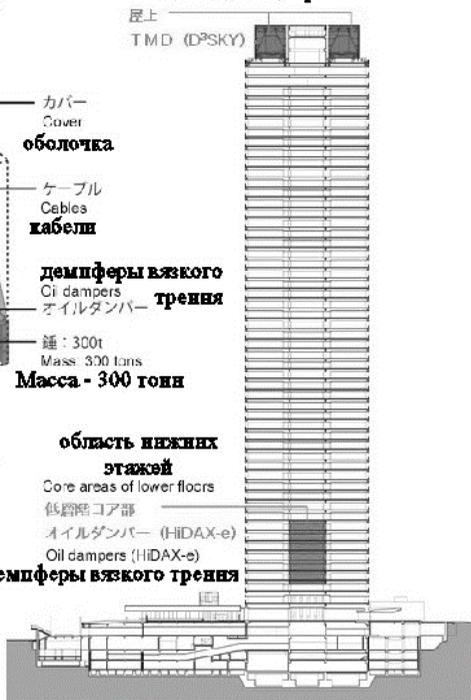


Рис. 14.5. Система сейсмозащиты Shinjuku Mitsui Building



Рис. 14.6. Гаситель колебаний здания One Rincon Hill – South Tower

К числу недостатков сейсмозащиты зданий с помощью динамических гасителей принадлежит относительная сложность конструкций гасителей колебаний и невозможность их применения для массового строительства из-за необходимости индивидуальной настройки гасителя для каждого конкретного здания.

### Вопросы и задания для самопроверки

1. Какие гасители колебаний более распространены: активные или пассивные? Почему?
2. Чем отличаются ударные гасители колебаний от динамических?
3. Чем отличаются маятниковые, пружинные и комбинированные гасители колебаний динамического типа?
4. Назовите недостатки гасителей колебаний.