

О ПРИМЕНЕНИИ МОДАЛЬНОГО ПОДХОДА К ВИБРОЗАЩИТЕ СООРУЖЕНИЙ

Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д.

ФГБУН Институт машиноведения им. А.А.Благонравова (ИМАШ) РАН, Москва.

Обсуждаются вопросы защиты различных сооружений от динамических воздействий, вызванных как техногенными причинами, так и природными катаклизмами.

На модельной задаче показаны возможности модального анализа при исследовании резонансных свойств здания, предопределяющих его отклик на динамические воздействия.

В настоящее время наша группа изучает пассивные мультирезонансные (многочастотные) динамические гасители колебаний. Авторы считают перспективным применение подобных гасителей к задачам динамики сооружений, ставшим особенно актуальными в связи с участвовавшими природными катаклизмами и значительным ростом техногенного вибрационного воздействия на здания и сооружения. Примером служат последствия урагана «Сэнди» в США в октябре 2012г. и землетрясения в префектуре Фукусима в Японии в марте 2011г. Сдержать землетрясение или остановить его невозможно. Наша задача к нему приспособиться.

Согласно классической теории существуют 3 направления борьбы с вибрациями: снижение уровня вибрации в источнике, снижение ее уровня на пути распространения и изменение резонансных свойств защищаемых объектов.

Одним из способов защиты здания от вибрации является изоляция здания от фундамента. Примером может служить здание мэрии в Лос-Анджелесе, построенное в 1928году. Американцы провели большую работу, чтобы здание могло смещаться на один метр, без разрушения при любом землетрясении. 578 изоляторов было помещено между существующим фундаментом и новым цоколем. Домкраты убрали, и новое здание теперь стоит на изоляторах. Каждый изолятор состоит из многих слоев резины и стали и покрыт пожароустойчивым материалом. Во время толчков изоляторы поглощают удары, не давая зданию упасть.

Для защиты здания мэрии от поперечных (боковых) смещений применены гидравлические амортизаторы с компьютерным управлением, которые гасят резонанс, чтобы уменьшить колебания. Компьютеры в сочетании с «интеллектуальными» материалами, сами защитят здание от землетрясения. Эта защита ратуши обошлась в 270млн. долларов. Поэтому такие проекты не могут стать массовыми.

Франко-британская группа ученых обнародовала проект сейсмозащиты по идее стелс-технологий. Они рассчитали «волнорез», созданный около фундамента защищаемой конструкции, состоящий из концентрических окружностей из пластика и других материалов различной жесткости, способный безопасно рассеивать разрушительную энергию землетрясения. Однако при плотной застройке это не всегда возможно.

Одним из очень эффективных, простых и широко известных инженерных методов снижения уровня вибрации сооружений является динамическое гашение колебаний [1].

В отличие от классической схемы динамического гашения колебаний, когда защищаемый объект и гаситель моделируются сосредоточенными массами [1], мы предложили моделировать и защищаемую конструкцию, и динамический гаситель упругими телами с соответствующими модальными свойствами, т.е. их можно представлять КЭ (конечно-элементными) моделями [2].

Настройка динамического гасителя относительно защищаемого объекта осуществляется в пространстве нормальных координат, т.е. физические параметры гасителя выбирают в результате сравнительного анализа модальных свойств защищаемой конструкции и динамического гасителя.

На наш взгляд, инженерные исследования динамики современных структурно-сложных конструкций наиболее эффективно и рационально проводить на основе модального подхода, когда моделируются, измеряются и анализируются модальные свойства (собственные частоты, формы и соответствующие коэффициенты демпфирования) конструкции и ее отдельных частей.

Кроме того отметим, что разрушения и иные отказы конструкций, испытывающих знакопеременные нагрузки, чаще всего происходят вследствие возникновения в этих конструкциях низкочастотных резонансных колебаний.

Мы предлагаем для сооружений, нуждающихся в виброзащите, создавать пассивные мультирезонансные динамические гасители колебаний, стоимость которых относительно невысока. Они даже могут быть «одноразовыми» для конкретного пикового воздействия (землетрясения), их можно будет легко воссоздавать. Это похоже на то, когда в минуту опасности ящерица сбрасывает свой хвост, который потом вырастает вновь.

На описанной ниже модельной задаче проведено исследование резонансной активности бетонных зданий, которые могут быть подвержены землетрясениям.

Для компьютерного моделирования использован программный комплекс ABAQUS компании DASSAULT SYSTEMS.

Был выполнен расчет собственных частот и форм бетонного «здания» с размерами 5 на 8 м по периметру и высотой 20м, толщина стен 0.5м. Т.к. при большинстве землетрясений механические воздействия происходят в диапазоне до 150-200Гц, результаты расчета оказались настораживающими, поскольку в этом диапазоне оказалось большое количество резонансных частот условного здания.

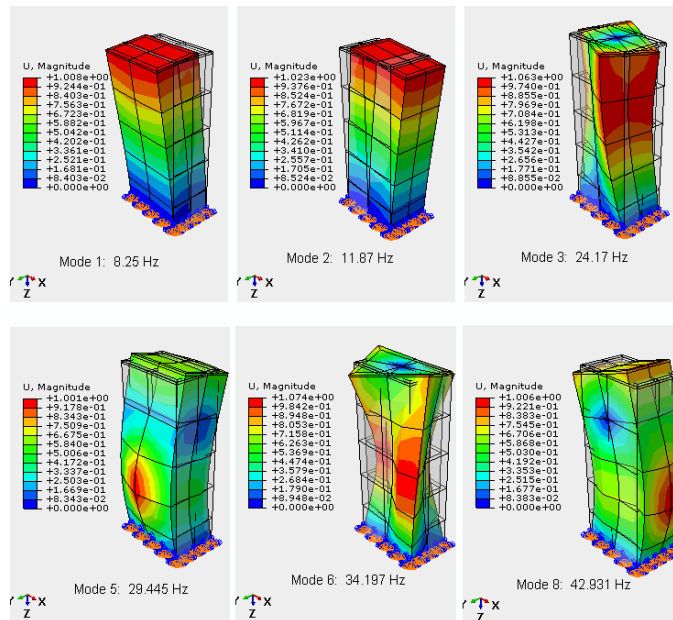


Рис. 1 – «Балочные» формы.

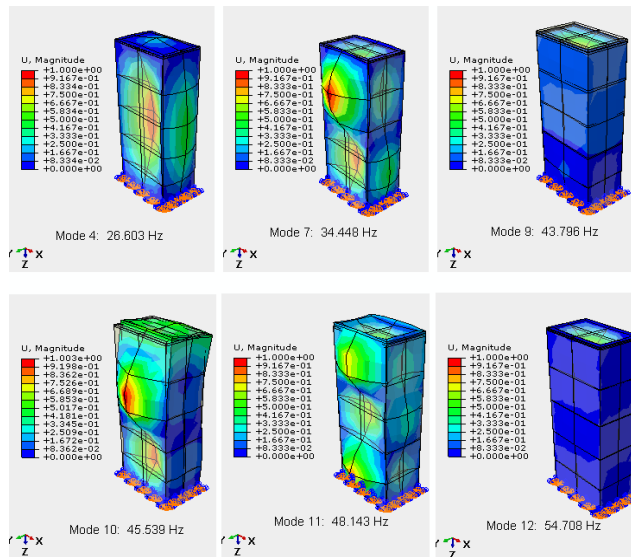


Рис. 2 – «Оболочечные» формы.

На рисунках показаны как «балочные» формы колебаний (рис. 1), так и «оболочечные» формы (рис. 2) в диапазоне до 55 Гц.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные характеристики угловой верхней точки здания (SET-1) и точки на широкой стене в центральной части здания (SET-2) при кинематическом возбуждении по трем осям «белым шумом», т.е. смоделирован проход по частоте в диапазоне до 60 Гц при возбуждении ускорением единичной амплитуды.

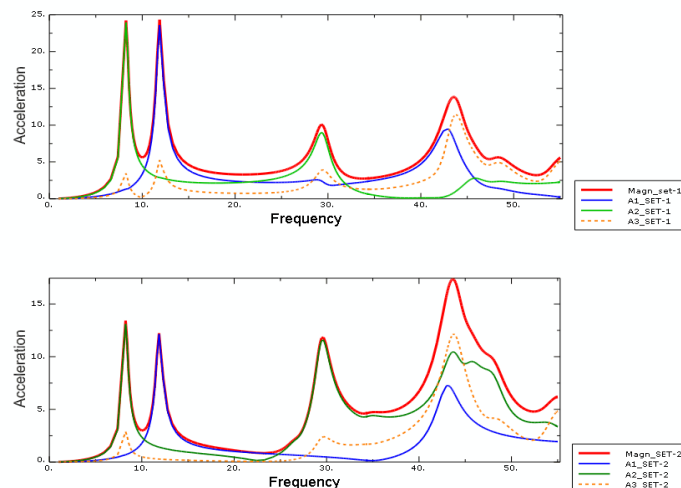


Рис. 3

Видно, что если в верхней угловой точке здания (SET-1) максимальные уровни отклика обусловлены колебаниями здания по «балочным» формам, то в средней части здания (SET-2), максимальные уровни отклика обусловлены его колебаниями по «оболочечным» формам.

Таким образом, на простой модельной задаче продемонстрированы преимущества применения модального анализа при исследовании вибрации сооружений, когда выявлены не только существующие проблемы, т.е. фактические резонансные пики колебаний в разных местах здания, но и их причины, т.е. собственные формы колебаний здания, обуславливающие эти пики.

Авторы считают необходимым отметить, что в последнее время появились новые строительные материалы – например, полистиролбетон, эластомеры. Вибродемпфирующий эластомер представляет собой сополимерную композицию на основе бутадиен-нитрильных синтетических каучуков NBR и хлористого винила. Эти материалы обладают одновременно высоким демпфированием и достаточно высокими механическими свойствами при знакопеременных нагрузках.

Указанные особенности делают эти материалы особенно привлекательными для использования в конструкциях пассивных многочастотных гасителей колебаний различных сооружений, где требуется сочетание способности осуществлять существенное поглощение и рассеивание механической энергии при одновременных колебаниях со значительными амплитудами.

Мы полагаем, что на стадии проектирования сооружений можно будет включать в их несущие системы специальные узлы (агрегаты), разработанные для улучшения резонансных свойств этих сооружений.

На наш взгляд, проведение подобных инженерных исследований динамики сооружений наиболее эффективно на основе модального подхода, когда моделируются и анализируются реальные модальные свойства конструкции. При этом используемый математический аппарат универсален и не зависит от конкретного вида конструкции.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что большинство строительных сооружений на планете практически слабо или совсем не защищены от землетрясений. Надеемся, что наши исследования по пассивным мультирезонансным гасителям колебаний помогут решить эти задачи.

Литература

1. Корнев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний: теория и технические приложения. - М.: Наука, 1988г., 304с.
2. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д. Мультирезонансный динамический гаситель. Проблемы машиностроения и автоматизации, №2, 2012г.