

# МОДЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА О ВИБРОЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ МНОГОЧАСТОТНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ГАСИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ (МДГК)

Макаров С.Б. к.т.н., ст.н.с.<sup>1)</sup>, Панкова Н.В. к.ф.-м.н., вед.н.с.<sup>1)</sup>, Перминов М.Д. д.т.н., гл.н.с.<sup>1)</sup>, Тропкин С.Н. к.т.н., асс.каф.<sup>2)</sup>

1) ФГБУН Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва,

2) ФГБОУ Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа.

*Решена модельная задача о защите бетонного здания от сейсмического воздействия (кинематическое возбуждение) многочастотным динамическим гасителем колебаний (МДГК). В качестве гасителя использован упругий цилиндрический сосуд, частично заполненный водой. В результате решения задачи показано, что с помощью предложенного гасителя удастся существенно снизить амплитуды виброускорений здания, направив значительную часть энергии возбуждения в колебания упругого сосуда с жидкостью.*

Явление многочастотного динамического гашения колебаний (МДГК) с помощью гасителя в виде упругого тела со специально настроенными резонансными свойствами, позволяющее одновременно гасить нескольких резонансных пиков, описано авторами в работах [1, 2].

Возможность использовать в качестве МДГК упругий цилиндрический сосуд, частично заполненный жидкостью, была проанализирована расчетным путем. Соответствующая расчетная модель представляла собой цилиндрический сосуд из полипропилена, открытый с одного торца, диаметром 4м, высотой 4м и толщиной стенки 0.1 м. Жидкость - вода, заполняющая сосуд наполовину. Наружная поверхность дна сосуда была закреплена.

Здание было представлено бетонным параллелепипедом размером 5x8x20м с толщиной стенки 0.5м и с заземленным основанием. Сейсмическое воздействие было представлено кинематическим возбуждением основания единичным линейным ускорением по осям OX, OY, OZ, т.е. единичным белым шумом.

Целью настоящей работы было на примере решения модельной задачи оценить эффект применения МДГК в виде упругого тела, частично заполненного жидкостью, для снижения резонансных пиков отклика пространственной строительной конструкции на сейсмическое воздействие.

## Описание расчетных моделей

Численное моделирование проводилось методом конечных элементов, средствами программного комплекса SIMULIA ABAQUS. Все части модели были построены из трехмерных линейных 8-узловых элементов C3D8H.

Расчетные модели здания с МДГК и без него изображены на Рис. 1.

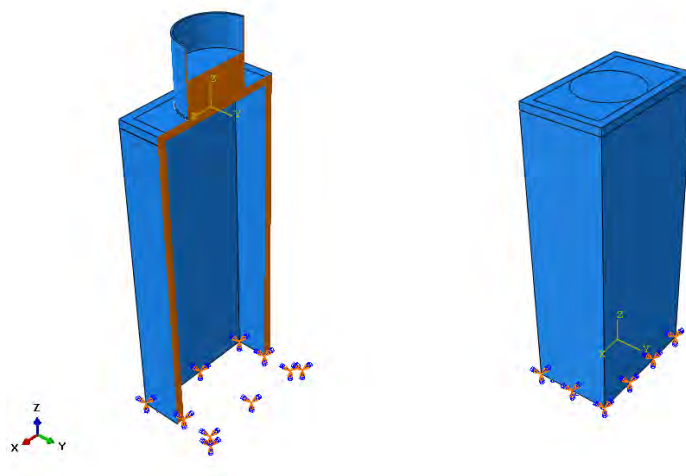


Рис. 1

Расчетная модель МДГК в виде упругой конструкции, частично заполненной жидкостью, содержала 41172 переменных. Масса МДГК, включая сосуд и жидкость, составляла 27471.51 кг.

Расчетная модель здания (описание см. выше) содержала 18207 переменных. Масса здания составляла 439420 кг. Расчетная модель здания с установленным на его верхней плите гасителем (МДГЛ) содержала 59379 переменных.

Расчетные исследования включали в себя расчет собственных частот и форм (мод) колебаний здания как без МДГК, так и с МДГК, установленным на его верхней плите. Выполнены также расчеты амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) отклика контрольных точек конструкции на кинематическое возбуждение ее основания в диапазоне 0.5 – 31 Гц. При расчете АЧХ модальное демпфирование было принято равным 0.03 для всех мод.

### Резонансные свойства модели без МДГК.

Расчет собственных частот и форм модели здания без МДГК показал, что ее первые 30 мод находятся в диапазоне до 91.5 Гц.

Первые (низшие) собственные частоты и формы модели здания без МДГК представлены на Рис. 2. Первые 2 формы (7.967 и 11.460 Гц) соответствуют первым изгибным формам здания в плоскостях YOZ и XOZ соответственно. Третья форма (23.591 Гц) – это скручивание здания вокруг вертикальной оси OZ. Четвертая форма (23.734 Гц) характеризуется противофазными колебаниями боковых стен по 1 полуволне. Пятая форма (26.256 Гц) характеризуется изгибными колебаниями 2-го тона в плоскости YOZ совместно с синфазными колебаниями боковых стен по 1 полуволне. Шестая форма (31.026 Гц) – это колебания боковых стен с деформированием по 2 полуволнам.

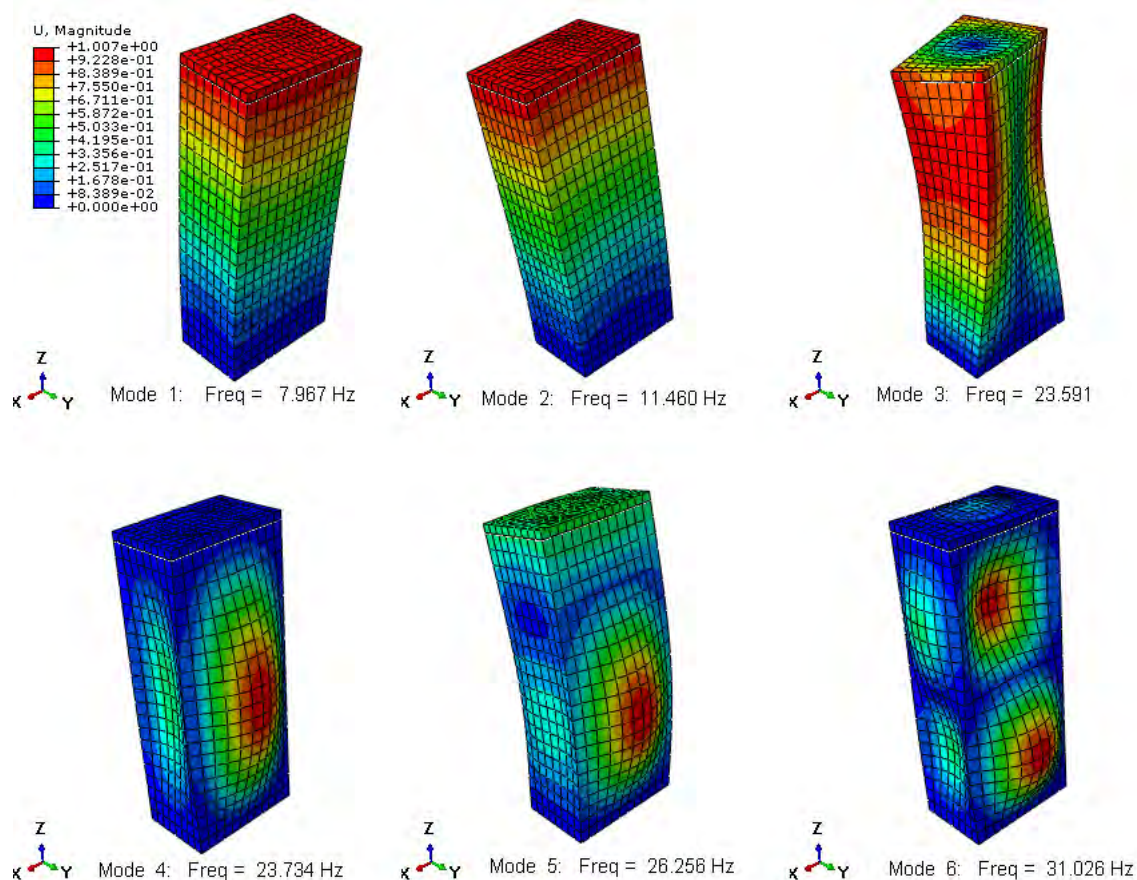


Рис. 2

На Рис. 3 красная кривая представляет АЧХ здания без МДГК в контрольной точке, расположенной на поверхности верхней плиты вблизи угла.

Из Рис. 3 следует, что в исследуемом частотном диапазоне (до 31 Гц) здание без МДГК имеет 2 существенных пика амплитуд ускорения (7.97 и 11.46 Гц) и более «низкий» пик около 26.3 Гц.

### Резонансные свойства модели с МДГК.

Расчет собственных частот и форм модели здания с МДГК показал, что в диапазоне до 30.75 Гц находятся ее первые 120 мод, т.е. плотность собственных частот модели здания существенно увеличилась, что является естественным следствием включения в нее МДГК, который представляет собой упругую конструкцию с высокой плотностью спектра собственных частот.

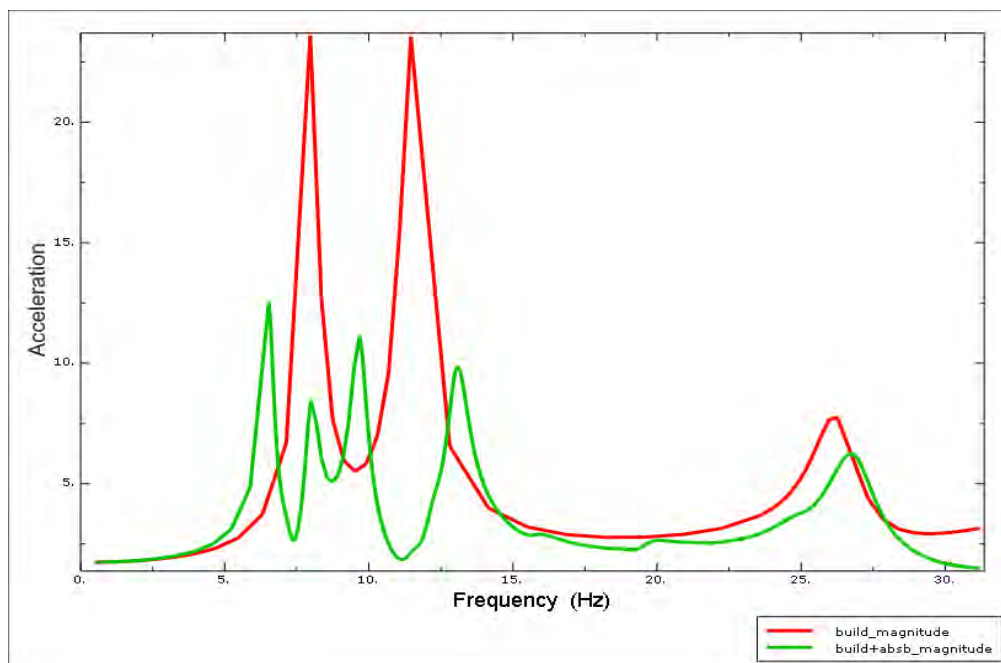


Рис. 3

На Рис. 4 представлены 6 характерных собственных частот и форм модели здания с МДГК. Первая форма (0.6943 Гц) соответствует вращению жидкости в цилиндрическом баке вокруг вертикальной оси OZ. Формы с частотами 6.531 и 7.988 Гц соответствуют первой изгибной форме здания с МДГК в плоскости YOZ и, соответственно, первым двум пикам зеленой кривой на Рис. 3, представляющей АЧХ здания с МДГК в контрольной точке, расположенной на поверхности верхней плиты вблизи угла.

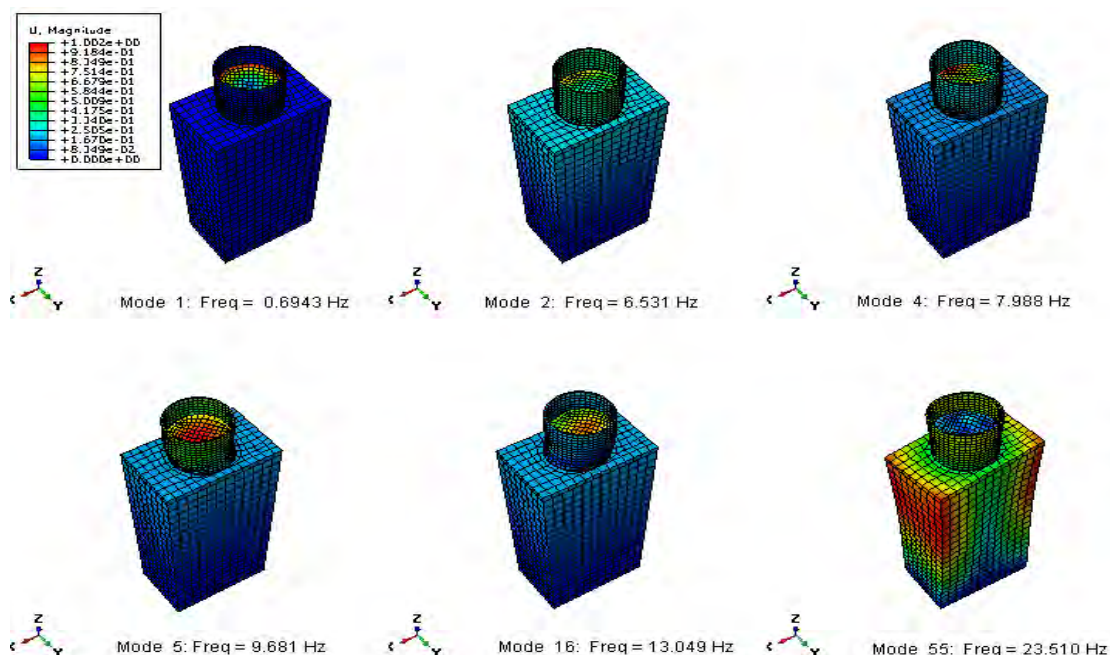


Рис. 4

Формы с частотами 9.681 и 13.049 Гц соответствуют первой изгибной форме здания с МДГК в плоскости XOZ и, соответственно, третьему и четвертому пикам зеленой кривой на Рис. 3.

Форма с частотой 23.510 Гц – это скручивание здания с МДГК вокруг вертикальной оси OZ. Вид деформации здания с МДГК по этой собственной форме соответствует деформации здания без МДГК по собственной форме с частотой 23.591 Гц – см. Рис. 2. При этом жидкость в МДГК практически неподвижна.

Проанализировав изображенные на Рис. 4 собственные формы с собственными частотами 0.6943 Гц и 23.510 Гц, видим, что МДГК в виде цилиндрического сосуда с жидкостью непригоден для гашения крутильных колебаний конструкции вокруг ее оси, совпадающей с продольной осью цилиндрического сосуда.

Сопоставив изображенные на Рис. 3 зеленую и красную кривые, представляющие АЧХ ускорений в одной и той же точке наблюдения, видим, что применение МДГК в рамках изложенной модельной задачи позволяет примерно вдвое и более снизить уровни наиболее виброактивных резонансных пиков конструкции.

На Рис. 5, в дополнение к ранее упомянутым АЧХ здания с МДГК (зеленая кривая) и здания без МДГК (красная кривая) приведены АЧХ в точках наблюдения, расположенных на самом МДГК. Это кривые синего цвета; пунктирная линия соответствует точке на верхнем краю боковой стенки цилиндрического сосуда, а сплошная линия – осредненной величине данных в 17 точках, расположенных на поверхности жидкости.

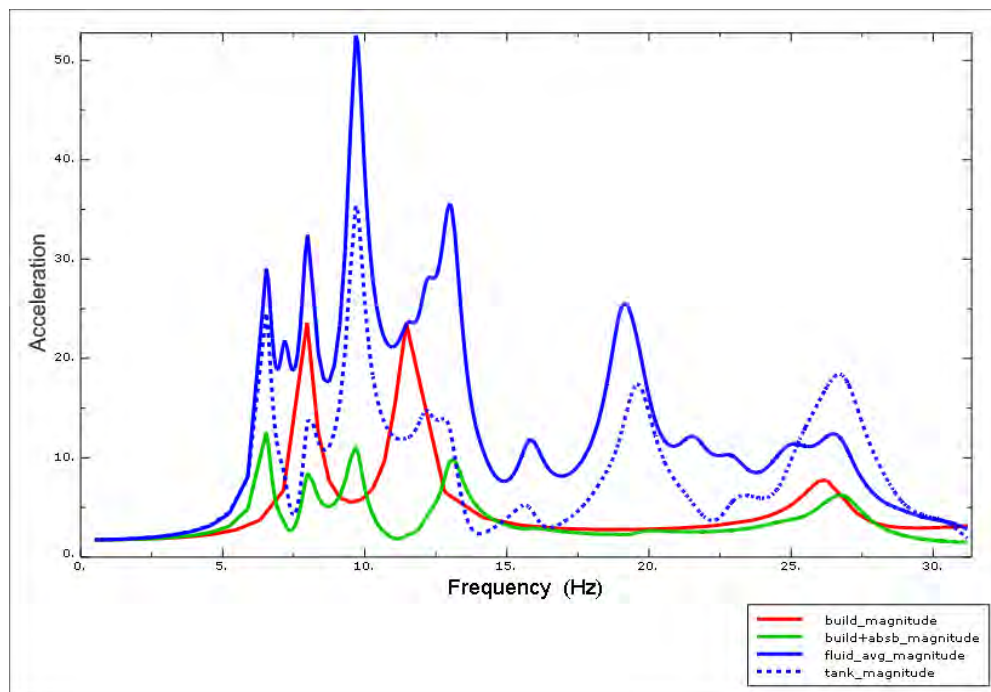


Рис. 5

Анализ АЧХ, изображенных на Рис. 5, показывает, что использование в качестве гасителя колебаний упругого объекта с высокой плотностью спектра собственных частот позволяет успешно перевести существенную часть энергии возбуждения в механическую энергию колебаний гасителя.

### **Выводы**

Решение модельной задачи о защите бетонного здания от сейсмического воздействия (низкочастотного кинематического возбуждения) при помощи МДГК в виде упругого сосуда, частично заполненного жидкостью, показало эффективность предлагаемого подхода по сравнению с МДГК в виде упругой конструкции.

Если при одинаковом уровне снижения максимумов резонансных пиков масса МДГК в виде упругой конструкции [1, 2] составляла до 17.5% от массы защищаемого объекта, то в представленной задаче масса МДГК составила 6.25% от массы защищаемого объекта.

Показано, что особенности динамических свойств гасителя в виде упругой конструкции, частично заполненной жидкостью, позволяют эффективно перевести существенную часть энергии возбуждения в механическую энергию колебаний гасителя.

Таким образом, на примере решения модельной задачи описан возможный способ гашения колебаний здания из бетона, возбуждаемых низкочастотным кинематическим воздействием (землетрясением) с помощью многочастотного динамического гасителя, настроенного на резонансы здания.

### ***Литература***

1. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д. МУЛЬТИРЕЗОНАНСНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ГАСИТЕЛЬ. Проблемы машиностроения и автоматизации. №2, 2012, с. 70-74.
2. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Перминов М.Д. О РАЗРАБОТКЕ МНОГОЧАСТОТНОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА «ABAQUS». Инженерные системы-2013. Труды Международного форума: Москва, 15-16 апреля 2013 г., с. 143-147.