О РАЗРАБОТКЕ МНОГОЧАСТОТНОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ABAQUS

к.т.н. С.Б.Макаров, к.ф-м.н. Н.В.Панкова, д.т.н. М.Д.Перминов.
ФГБУН Институт машиноведения им. А.А.Благонравова (ИМАШ) РАН

Описывается новое явление, представляющее собой развитие известного эффекта динамического гашения колебаний и существенно расширяющее возможности практического использования этого эффекта.

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

В результате многолетних исследований динамики структурно-сложных систем в наукоемких областях машиностроения (судостроение, космонавтика, автомобилестроение) авторами сформулирована возможность создания мультирезонансного (многочастотного) динамического гасителя колебаний [2].

Новизна подхода авторов к задаче о динамическом гашении колебаний состоит в следующем.

Классическая постановка задачи о динамическом гасителе сводится к исследованию колебаний двух твердых тел, одно из которых представляет собой защищаемую конструкцию, а другое – динамический гаситель, физические параметры которого (масса, упругость подвеса, коэффициент демпфирования) подбираются в соответствии с показателями «гасимого» резонансного пика конструкции. То есть вместо системы с 1 степенью свободы и соответственно одним резонансным пиком получаем систему с 2 степенями свободы и двумя резонансными пиками. Соответствующим подбором физических параметров гасителя обеспечивается снижение уровня резонансного пика колебаний защищаемой конструкции.

Авторы предлагают рассматривать и защищаемую конструкцию, и динамический гаситель в виде упругих тел, при этом количество рассматриваемых при решении задачи собственных частот и форм колебаний определяется частотным диапазоном решаемой задачи. Такой подход позволяет эффективно применять универсальные средства компьютерного моделирования, в частности метод конечных элементов.

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

При этом конструктивное исполнение гасителя (геометрия, материал и т.п.) <u>может быть самым разнообразным</u>, в зависимости от функциональных ограничений и требований к проектируемому изделию.

В качестве модельной задачи для иллюстрации выдвинутой идеи использована известная задача о колебаниях консольной балки прямоугольного поперечного сечения. Очевидно, что самым виброактивным местом такой балки является ее незакрепленный конец.

Чтобы снизить уровень колебаний незакрепленного конца исследуемой балки на основных резонансных пиках, в качестве гасителя применена также распределенная система – балка, установленная на свободном конце исходной балки перпендикулярно к ее продольной оси. Параметры балки-гасителя обеспечивают в исследуемом частотном диапазоне соответствие ее собственных частот гасимым резонансам исходной системы.

Решение модельной задачи состояло в реализации алгоритма настройки гасителя, и кинематическом возбуждении точки закрепления исходной балки единичным ускорением по 3 координатным осям (3-х мерным «белым шумом») в диапазоне до 300 Гц.

Были получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) характерной точки объекта без гасителя (свободного конца консольной балки), той же точки объекта с установленным гасителем, и свободного конца балки-гасителя.

Результаты расчетов представлены на рис. 1, на котором видно, что в исследованном диапазоне частот результаты для всех резонансных пиков объекта полностью согласуются с классической теорией динамического гашения колебаний.

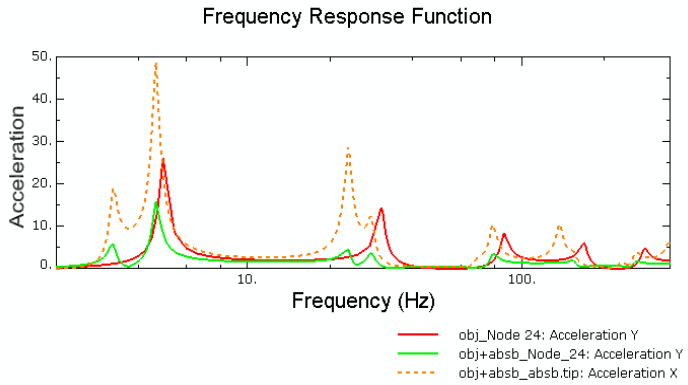

Рис. 1 – АЧХ исходного объекта (obj) и объекта с многочастотным гасителем (obj+absb).

Механизм одновременного гашения нескольких резонансных пиков проиллюстрирован рисунками 2 – 4, на которых показано, как в результате установки на объект правильно настроенного пассивного мультирезонансного гасителя вместо одного резонанса исходного объекта возникает соответствующая пара резонансов объекта с гасителем.

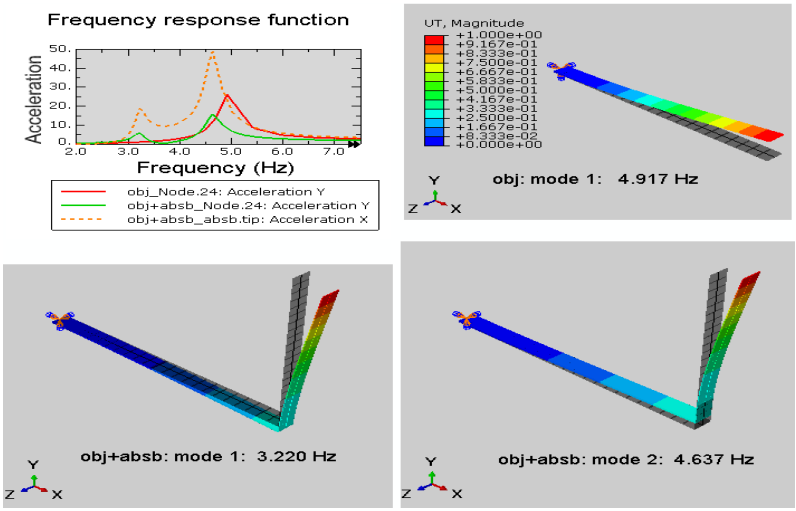

Рис. 2. Диапазон 2 – 8 Гц, 1-й резонанс.

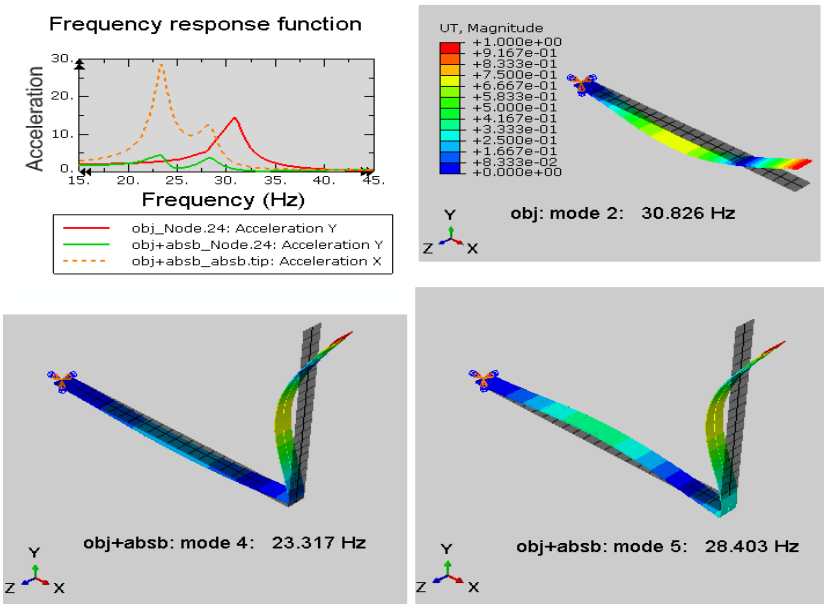

Рис. 3 – Диапазон 15 – 40 Гц, 2-й резонанс.

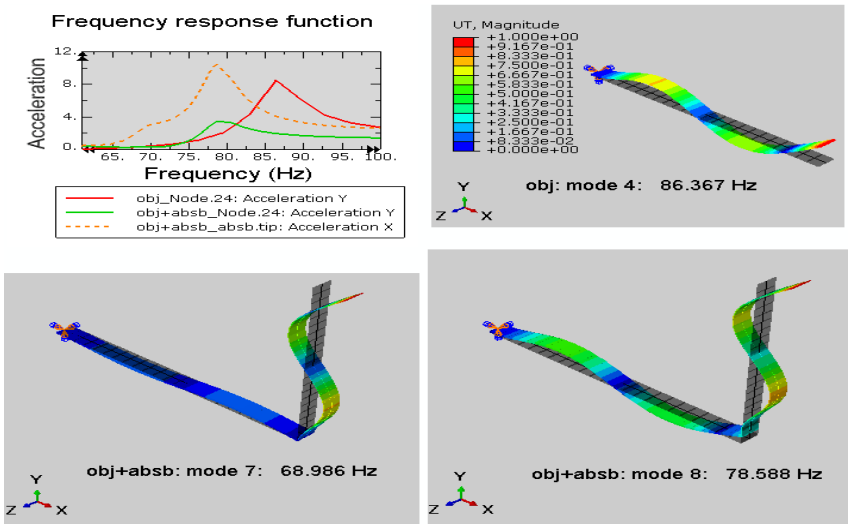

Рис. 4 – Диапазон 60 – 100 Гц, 3-й резонанс.

Авторы полагают, что описанный эффект, основанный на взаимодействии резонансных свойств отдельных частей структурно-сложной конструкции или сооружения, проявляется во многих машинах и сооружениях, причем далеко не всегда положительно.

Авторы считали, что расчетная модель, использованная в описанной выше модельной задаче, демонстрационная, простая и далекая от реальности, но ураган «Сэнди», пронесшийся над Нью-Йорком в октябре 2012 г., подтвердил ее жизнеспособность – см. рис. 5а и 5б, на котором справа изображена модель, а слева подъемный кран в Нью-Йорке после воздействия урагана.

а) б)

Рис. 5.

Основное направление ветровой нагрузки (урагана) – горизонтальное, но, при практическом отсутствии действующих на кран вертикальных сил, его стрела обломилась вертикально, – скорее всего, стрела крана сработала как динамический гаситель для вертикальной части крана.

В представленной работе для компьютерного моделирования был использован программный комплекс ABAQUS компании DASSAULT SYSTEMS.

По мнению авторов, следующие свойства комплекса ABAQUS, делают его весьма удобным инструментом для разработки пассивных мультирезонансных динамических гасителей колебаний:

- Применимость к любому виду конструкций – в силу использования метода конечных элементов, обширной библиотеки элементов и материалов.
- Обширная, подробная и доступная «on-line» документация, как по практическому использованию (руководства пользователя), так и по теоретическим аспектам.
- Возможность параметрического задания исходных данных расчетной модели, что существенно упрощает настройку резонансов динамического гасителя.
- Открытость комплекса, т.е. предусмотренная разработчиками возможность его взаимодействия с подпрограммами пользователя, написанными на языке высокого уровня.

Заключение

Резонансные свойства объекта являются важнейшими с точки зрения прогнозирования его динамического отклика, особенно с учетом случайного и неуправляемого характера внешнего воздействия [1].

На примере решения модельной задачи показан устойчивый эффект значительного снижения амплитуды колебаний наиболее виброактивной точки конструкции (свободного конца балки) в широком диапазоне частот – см. рис. 1.

На наш взгляд грамотное использование в инженерной практике описанного явления пассивного мультирезонансного (многочастотного) динамического гашения колебаний, т.е. одновременного снижения уровня нескольких резонансных пиков конструкции, может быть полезным для защиты сооружений от вибрации и различных динамических воздействий.

Литература

1. Коренев 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, 2012.