

Задание демпфирующих характеристик упругих конструкций

Бойков В.Г.

© ООО «АвтоМеханика»

01.11.2018

Демпфирующие свойства конструкций обычно характеризуются логарифмическим декрементом колебаний δ . В линейных системах (линейные жесткость и демпфирование) логарифмический декремент имеет постоянное значение независимо от амплитуды колебаний. Для линейных систем используется также коэффициент затухания колебаний ξ , который также называют долей критического затухания или степенью демпфирования. Они связаны соотношением

$$\delta = 2\pi \cdot \xi \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}}.$$

При слабом затухании колебаний

$$\delta \approx 2\pi \cdot \xi.$$

Рассмотрим демпфирование конструкций, моделируемых в программном комплексе EULER набором твердых тел, связанных шарнирами и силовыми элементами. Поскольку шарниры являются идеальными, то демпфирующие свойства модели конструкции определяются только параметрами силовых элементов. Для задания демпфирующих свойств некоторых силовых элементов используется относительный коэффициент демпфирования

$$\bar{b} = \frac{b}{k} \quad \text{или в других обозначениях} \quad \bar{c} = \frac{c}{k},$$

где $b \equiv c$ - коэффициент демпфирующей силы линеаризованной модели; k - коэффициент упругой силы линеаризованной модели или коэффициент жесткости.

Приведенный относительный коэффициент демпфирования соответствует Релеевскому демпфированию, не зависящему от массы. Для него справедливо соотношение


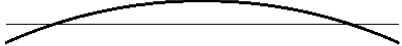




$$\bar{b} \equiv \bar{c} = \frac{2\xi}{\omega_1} \approx \frac{\delta}{2\pi^2 \cdot f_1},$$

где ω_1, f_1 - собственная угловая и периодическая частоты первой формы колебаний.

Следует отметить, что частота первой формы колебаний зависит не только от материала конструкции, но и от ее размеров, типа колебаний (например, продольные или поперечные колебания стержня), схемы

закрепления исследуемой конструкции и от других факторов. Поэтому при интерпретации экспериментальных характеристик демпфирования материалов важно понимать при каких условиях они получены. Влияние схемы закрепления на частоту первой формы колебаний, а, следовательно, и на характеристики затухания колебаний, можно продемонстрировать на примере свободных поперечных колебаний однородного стержня. Характеристики колебаний стержня представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Схема закрепления стержня	Относительное значение частоты первой формы колебаний	Вид первой формы колебаний
	1	
	0.441	
	0.157	

В папке «характеристики_демпфирования» находятся следующие файлы модели упругого стержня и его испытаний при различных схемах закрепления:

- beam.elr – модель стержня;
- beam_FREE.elr – свободные колебания стержня;
- beam_JOINT2.elr – колебания стержня при свободном опирании на концах;
- beam_FIX1.elr – колебания стержня при жестком закреплении на одном конце.

Проведя расчеты по этим моделям можно убедиться в справедливости соотношения (1) между относительным коэффициентом демпфирования и логарифмическим декрементом колебаний.

По данным [1, стр. 122] значения логарифмических декрементов для конструкций ракет и космических аппаратов, как правило, не выходят за пределы диапазона 0.015-0.35 . При этом декременты, величины которых меньше 0.025, а также больше 0.2, встречаются редко. Зависимость декрементов от амплитуды колебаний может иметь различный характер. В одних случаях декременты возрастают при увеличении амплитуд колебаний, в других – остаются практически постоянными. Иногда наблюдается также уменьшение декрементов с увеличением амплитуд колебаний.

Вероятно, что приведенные значения логарифмических декрементов и характер их поведения при изменении амплитуды колебаний можно применить и к другим конструкциям, в частности, к авиационным и автомобильным конструкциям.

Основное влияние на диссипативные свойства конструкции оказывают различные конструктивные факторы: стыковые соединения, зазоры, подкрепляющий силовой набор, способы соединения деталей конструкции, наличие теплозащитных и звукоизоляционных материалов в конструкции и способы их закрепления и т.д. Клепаные конструкции имеют более высокие значения декрементов, чем сварные. Наличие подкрепляющего силового набора может существенно увеличить значение декремента. На диссипативные свойства конструкции могут существенно влиять различные подвесные элементы, например, приборы, кабельная сеть и т.д.

При отсутствии экспериментальных данных в качестве первого приближения для сборных конструкций машин можно принять модель линейного демпфирования и значение логарифмического декремента 0.1 . При наличии в конструкции зазоров значение логарифмического декремента может быть увеличено до 0.3 . На рисунке 1, для справки, представлены графики процесса колебаний с рекомендуемыми значениями логарифмического декремента.

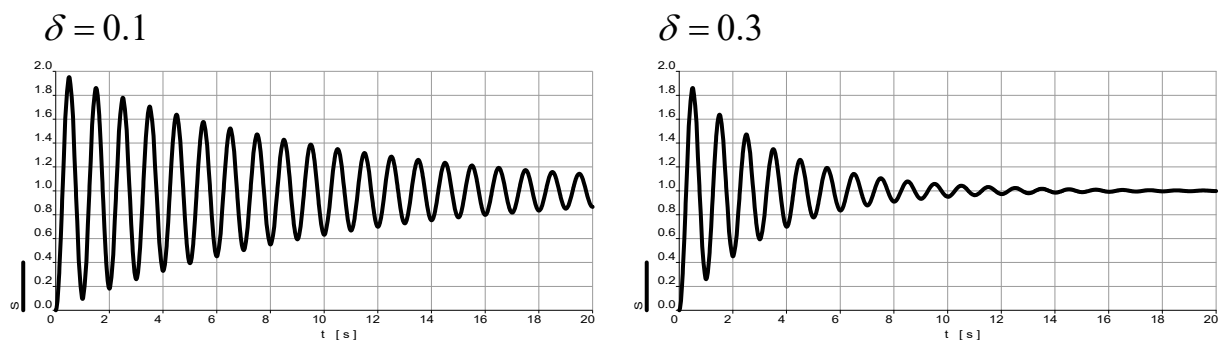


Рис. 1. Процесс колебаний с различными значениями логарифмического декремента

Ниже по данным [2] в таблице 2 приведены ориентировочные максимальные значения логарифмического декремента колебаний для различных материалов при амплитуде напряжения, равной одной десятой предела текучести данного материала, в условиях комнатной температуры. К сожалению, в приведенном источнике не указано при каких условиях эти данные были получены (форма и размеры испытываемых образцов, тип колебаний: растяжение-сжатие или изгиб, схема закрепления образцов, частота колебаний образцов и другие факторы), а это может существенно повлиять на получаемые результаты.

Таблица 2.

Материал	Логарифмический декремент колебаний
<i>Металлические материалы</i>	
Магниеые сплавы	0.13 - 0.3
Марганцево-медные сплавы	0.10 - 0.25
Никель-титановые сплавы	0.10 - 0.15
Кобальто-никелевые сплавы	0.06 - 0.12
Медно-алюминиевые сплавы	0.04 - 0.1
Хромистая сталь	0.01 - 0.04
Углеродистая сталь	0.002 - 0.01
Алюминиевые сплавы	0.001 - 0.01
Латунь и бронза	0.001 - 0.003
Титановые сплавы	0.005 - 0.015
<i>Неметаллические материалы</i>	
Наполненная резина	0.1 - 0.5
Капрон	0.25 - 0.45
Фторопласт	0.17 - 0.45
Полипропилен	0.36 - 0.40
Полиэтилен	0.26 - 0.39
Оргстекло	0.14 - 0.28
Пенопласт	0.06 - 0.24
Эпоксидные смолы	0.06 - 0.18
Текстолит	0.04 - 0.12
Стеклотекстолит	0.02 - 0.10

Литература

1. Микишев Г. Н. Экспериментальные методы в динамике космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1978. 248 с.
2. Лекции Демпфирование и его характеристики. – URL: <https://gigabaza.ru/doc/177712.html> (дата обращения 16.10.2018).