

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ УДАРНОМ ДЕМПФИРОВАНИИ

В. Ф. ГОРБУНОВ, А. И. ПАШНИН, С. С. ДЕРОБЕРТИ, И. Г. РЕЗНИКОВ

Как известно [1], коэффициент динамичности или коэффициент увеличения представляет собой отношение амплитуды вынужденных колебаний $У$ к статическому смещению S_a , т. е.

$$A^0 = \frac{y}{S_a} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{4\nu^2\Omega^2}{\omega_0^4}}}, \quad (1)$$

где Ω — круговая частота вынужденных колебаний системы;

ω_0 — круговая частота свободных колебаний системы;

ν — коэффициент затухания.

Коэффициент динамичности является важнейшей характеристикой виброгашения. По его величине можно судить, насколько эффективен тот или другой вид демпфирования. Поэтому авторы ставили своей задачей получить зависимость коэффициента динамичности от геометрических параметров ударного демпфера и основных характеристик возмущающей силы.

Схема упругой системы с ударным демпфером показана на рис. 1. Здесь M и K — соответственно масса и жесткость демпфируемой системы, m — масса демпфирующего элемента, помещенного с зазором δ в полость корпуса массы M .

Наиболее опасными режимами работы машин являются резонансные, поэтому ограничимся рассмотрением системы с ударным демпфером в области резонанса. Для этого случая $\omega_0 = \Omega$, поэтому выражение для коэффициента динамичности примет следующий вид:

$$A^0 = \frac{\omega_0}{2\nu}. \quad (2)$$

В этом выражении ν можно выразить через коэффициент демпфирования или сопротивления $h_{\text{экв}}$, который для системы с ударным демпфером в случае предположения, что действие ударного демпфера эквивалентно действию силы вязкого трения, можно представить [2]

$$h_{\text{экв}} = \frac{m \cdot \Omega}{\pi} (1 - \cos \varphi)^2. \quad (3)$$

где m — масса демпфирующего элемента;

φ — фаза соударений.

Ввиду того, что значение γ определяется выражением $\frac{h}{2M}$ [1] из (2) и (3) получим

$$A^{\circ} = \frac{\pi \cdot \mu}{(1 - \cos \varphi)^2}, \quad (4)$$

где μ — отношение соударяющихся масс $\frac{M}{m}$ (рис. 1).

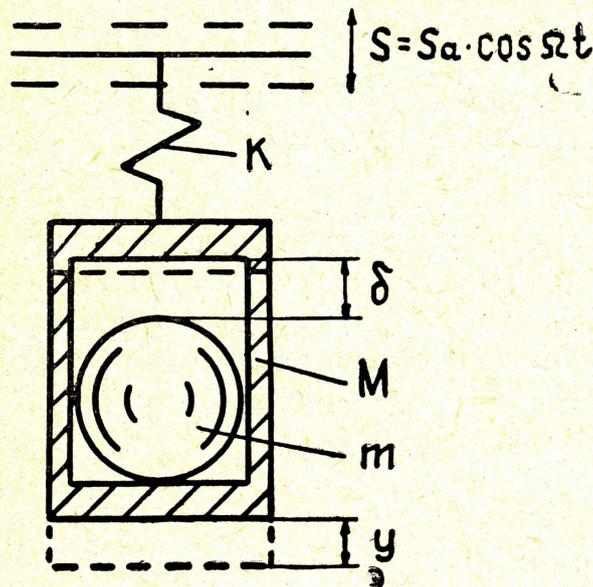


Рис. 1. Схема ударного демпфера

Фаза соударений (3), зависящая от отношения зазора δ к амплитуде вынужденных колебаний системы y , согласно [2], определяется выражением

$$\frac{\delta}{y} = \varphi - \sin \varphi, \quad (5)$$

где $\varphi = \Omega \cdot t_{уд}$ — фаза соударений, $t_{уд}$ — время от удара до удара.

Решая совместно уравнения (4) и (5) и считая что $y = A^{\circ} \cdot S_a$ получим выражение коэффициента динамичности для системы с ударным демпфером

$$A^{\circ} = \frac{1}{\Omega \cdot t_{уд} \cdot S_a} \left[\delta + \frac{\pi \cdot \mu \cdot S_a}{\operatorname{tg} \frac{\Omega \cdot t_{уд}}{2} (1 - \cos \Omega \cdot t_{уд})} \right]. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что коэффициент динамичности в первую очередь зависит от зазора δ и фазы соударений $\varphi = \Omega \cdot t_{уд}$. Фаза соударений является важной характеристикой ударного демпфирования, так как любое изменение амплитуды возмущения, зазора, материала и формы соударяющихся элементов влечет за собой ее изменение. Согласно зависимости (6), коэффициент динамичности несколько снижается с увеличением амплитуды возмущающей силы S_a .

Этот вывод хорошо подтверждается экспериментальными результатами, приведенными на рис. 2. Опыты проводились на вибростенде СТ-3000. Ударный демпфер, выполненный из стали, имел точечный контакт соударяющихся поверхностей. Зазор изменялся в пределах от 0 до 10 мм. Соотношение соударяющихся масс $\mu = 10$. Снижение коэффициента динамичности (рис. 2) можно объяснить тем, что с увеличением S_a амплитуда ускорения вынужденных колебаний системы несколько возрастает, соответственно возрастает энергия ударов и демпфирующая способность ударного виброгасителя повышается до определенной величины.

Необходимо указать, что в формуле (6) не учтено влияния формы и материала соударяющихся поверхностей. Для учета их введем коэффициенты K_1 и K_2 , которые отражают зависимость коэффициента

динамичности соответственно от формы и материала. Тогда выражение (6) примет вид

$$A^0 = \frac{\kappa_1 \cdot \kappa_2}{\Omega \cdot t_{уд} \cdot S_a} \left[\delta + \frac{\pi \cdot \mu \cdot S_a}{\operatorname{tg} \frac{\Omega \cdot t_{уд}}{2} (1 - \cos \Omega \cdot t_{уд})} \right]. \quad (7)$$

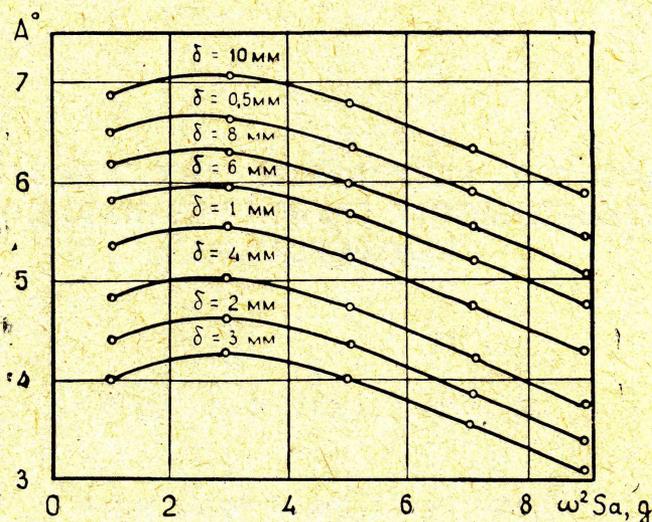


Рис. 2. Влияние зазора и амплитуды возбуждения на колебания

Коэффициенты K_1 и K_2 могут быть определены экспериментально, и их значения для некоторых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	κ_2	Форма контактной поверхности	κ_1 (для всех материалов)
Сталь	1	Точечная	1
Медь	1,4	Плоскостная	1,43
Алюминий	1,7	Линейная	1,22

Выражение (7) позволяет в какой-то мере провести анализ эффективности виброгашения в зависимости от параметров ударного демпфера и величины возмущения, а также установить возможность применения ударного демпфера в том или ином объекте.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Тимошенко. Колебания в инженерном деле. Изд-во «Наука», Главная редакция физико-математической литературы. М., 1967.
2. А. Е. Кобринский. Принцип действия и краткая теория виброгасителя конструкции Д. И. Рыжкова. Вестник машиностроения, № 9, М., Изд-во «Машиностроение», 1954.