

для отстройки системы от неустойчивого режима целесообразнее изменять трение в гистерезисе $F_0(x)$.

Л и т е р а т у р а

1. Б о л о т и н В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. Физматгиз, 1961.
2. Х е р м а н н Чжон Ин-Чен. О дестабилизирующем влиянии затухания в неконсервативных упругих системах. - "Прикладная механика", 1965, № 3.
3. Г а н и е в Р.Ф., П а в л о в И.Г. К теории земного резонанса вертолетов. - "Прикладная механика", Киев, 1973, том IX, вып. 5.
4. Л о г и н о в В.К., С т р а х о в Г.И. Устойчивость системы с квадратичным гистерезисом. Труды РКИИГА, Рига, 1972, вып. 222.
5. М и л ь М.Д. и др. Вертолеты. Ч. II. "Машиностроение", 1967.
6. Н. Ziegler. *Die Stabilitätskriterien der Elastomechanik. Ingenieur-Archiv, vol. 20, 1952.*
7. J. C. Jong. *On Stability of a Circulatory system with Bilinear Hysteresis Damping. Trans. of ASME, E36, № 1, 1969.*

Ю.С.Тишкин, Н.И.Старцев

О РАЗМЕЩЕНИИ ДЕМПИРУЮЩИХ ОПОР ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА

Для избежания опасных колебаний трубопроводов применяют частотную отстройку, которая становится малоэффективной при высоких частотах возбуждения и креплении на корпусах с малой жесткостью. В этих случаях целесообразнее обеспечивать низкий уровень резонансных напряжений демпфированием колебаний, для чего вместо жестких зажимов необходимо использовать упругие демпфирующие опоры.

Методика проектирования трубопроводов с демпфирующими опорами заключается в определении необходимого количества опор, их расстановке, расчете оптимальной жесткости и переменных напряжений. Необходимые данные могут быть получены из решения дифференциального уравнения колебания трубопровода при кинематическом возбуждении [1] с учетом сле-

дующих допущений:

демпфирование в материале и жестких заделках по сравнению с демпфированием в промежуточных опорах пренебрежимо мало;

угловая жесткость промежуточных опор пренебрежимо мала;

промежуточные опоры линейны, т.е. жесткость их не зависит от амплитуды перемещения трубопровода.

Для требуемого количества опор получено выражение

$$n = 1,24 \left\{ \frac{fL^2}{D} \left[\frac{\rho_n}{E(1-d^4)} \right]^{1/2} \right\}^{1/2} - \frac{1}{2},$$

где $\rho_n = \frac{\gamma(1-d^2) + \gamma_{жс}d^2}{g}$ - приведенная плотность трубопровода; f - максимальная частота возбуждения; L, D, d - соответственно длина, наружный и внутренний диаметры трубопровода; $\bar{d} = \frac{d}{D}$ - относительный диаметр трубопровода; E - модуль упругости материала трубы; $\gamma, \gamma_{жс}$ - удельный вес материала трубы и заполняющей жидкости; g - ускорение силы тяжести.

Количество опор и место их установки определялось из условия постановки опоры в каждой пучности стоячей волны.

При этом длина крайних участков $\ell_1 = \ell_{n+1} = \frac{L}{2n}$.

Длина промежуточных участков

$$\ell_{2,3,\dots,n} = \frac{L}{n}.$$

Оптимальная жесткость определялась из условия получения максимальной работы поглощения энергии колебаний:

$$C_{опт} = 21,9 f^{3/2} D^{5/2} \rho_n^{3/2} [E(1-d^4)]^{1/4}.$$

На практике не всегда удается обеспечить расчетное размещение опор. Это связано с тем, что часто на двигателе точки крепления можно обеспечить только в плоскости стыковочных фланцев, на ребрах жесткости тонкостенных корпусов и других местах с повышенной жесткостью. Так, на одном из двигателей величина смещений фактических точек крепления от расчетных составляет (0,05-0,25) φ , где $\varphi = \frac{x}{L}$ - относительная координата; x - расстояние от заделки трубы до опоры. При этом тензометрирование показало, что напряжения в трубопроводах невелики (0,7 - 2,4 кг/мм²).

Для оценки величин допустимых разбросов координат размещения демпфирующих опор рассмотрим зависимость напряжений в трубопроводе от параметра ξ при различных формах колебания.

Резонансные напряжения k -й формы колебания определяются из условия равенства сил возбуждения и сил демпфирования:

$$\sigma_q = \frac{2\pi}{\delta} v \left(\frac{E D_n}{1-d^4} \right)^{1/2} \bar{\sigma}_k,$$

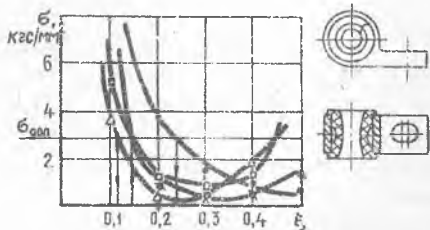
где $\bar{\sigma}_k = \frac{\alpha_k^2 \int \bar{y}_c(y_k) q dy}{\bar{c} \sum_{i=1}^3 [y_k(y_k)]^2} (y_k'')_q$; $\bar{c} = \frac{v L^3}{\pi E D^4 (1-d^4)}$ - относительная жесткость опоры; \bar{c} - абсолютная жесткость опоры; $\bar{y}_c = \frac{2\pi y_c f}{v}$ -

относительный квазистатический прогиб; $(y_k)_q$ - динамический прогиб k -й формы колебания; $(y_k'')_q$ - вторая производная динамического прогиба по ξ ; α_k - частотный коэффициент; δ - декремент колебания; v - виброскорость колебаний.

На рис. I приведены зависимости переменных напряжений в трубе

Р и с. I. Определение допустимой величины смещения демпфирующей опоры:

- - 1-я форма, одна опора;
- ◊ - 1-я форма, две опоры;
- ◻ - 2-я форма, одна опора;
- △ - 2-я форма, две опоры

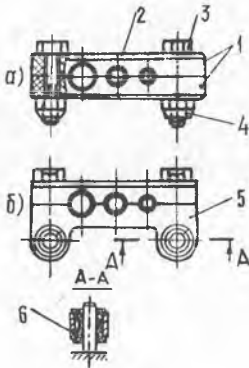


сечением 8x0,6 из стали I2xI8H10T от места расположения демпфирующей опоры (ОСТ II373-74), декремент колебания и жесткость которой соответственно равны 4 и 800 кгс/мм при частоте возбуждения 150 Гц и виброскорости 40 мм/сек.

При пересечении линии, ограничивающей допустимые переменные напряжения, с кривыми $\bar{\sigma} = f(\xi)$ на оси абсцисс получим максимально допустимые отклонения параметра ξ .

Полученные выводы возможно использовать и при определении места установки и количества групповых демпфирующих опор. Используемые в системах групповые опоры позволяют обеспечить компактность конструкции, уменьшить вес и количество крепежных деталей, проложить трубопроводы значительной протяженности без промежуточного крепления их к корпусу двигателя.

Групповые опоры можно подразделить на подвесные (рис. 2,а) и связанные с корпусом двигателя (рис. 2,б).



Р и с. 2. Конструктивные варианты групповых демпфирующих опор:

1 - резиновый демпфер; 2 - металлическая накладка; 3 - болт; 4 - гайка; 5 - металлическая колодка; 6 - резиновая втулка - демпфер

Задача по определению оптимального размещения групповых демпфирующих опор представляет определенные затруднения, связанные с тем, что на такой опоре закрепляются, как правило, трубопроводы различных длин и диаметров, каждый из которых имеет собственную форму колебаний и место установки опоры. Место установки групповой опоры можно определить, используя кривые рис. 1. Для этого необходимо найти допустимые границы расположения опоры для каждого трубопровода, и там, где эти границы совпадают, можно располагать групповую опору.

Л и т е р а т у р а

И. В и л ь н е р П.Д., К о н д р а ш о в Н.С. Некоторые вопросы доводки прочности труб ГТД. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей. Труды КуАИ, 1965, вып. XIX.

И.Д.Эскин, Ю.Н.Лапшов

УДАР В СИСТЕМАХ С КОНСТРУКЦИОННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

В работе исследовано поведение вибрационной системы с одной степенью свободы и конструкционным демпфированием при воздействии