

Рублев А.В., Бендеберя Ф.А., Зуев С.В., Маслов И.З.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ ТРОСОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДВИЖУЩИМСЯ ПОТОКОМ

Анотація. На підставі наведених співвідношень були виконані чисельні розрахунки в ході яких була знайдена зона нестійкості роботи троса.

Ключові слова: міст, трос, потік.

Аннотация. На основании приведенных соотношений были выполнены численные расчеты в ходе которых была найдена зона неустойчивости работы троса.

Ключевые слова: мост, трос, поток.

Annotation. On the basis of these relationships have been performed numerical calculations in which was found instability zone of the rope

Key words: bridge, rope, thread.

В некоторых случаях скорости набегающего потока могут быть очень большими и приводит к опасным вынужденным колебаниям троса вплоть до разрушения мест его соединений. Предотвращение таких колебаний возможно в том случае, когда известна зависимость их частотного спектра от силовых или кинематических нагрузок со стороны набегающего потока.

Основной задачей при использовании тросов и гибких труб является определение их равновесной пространственной формы в потоке. Такая форма осевой линии стержня в большинстве случаев является пространственной кривой, которая при больших скоростях набегающего потока в сильной степени отличается от равновесного состояния в неподвижном потоке [1].

При взаимодействии тросов с движущимся потоком вектор возникающего гидродинамического момента может быть представлен в виде

$$\vec{M} = \vec{M}_{вр} \vec{e}_1 = \frac{1}{2} C_m \rho d v_n^2 \vec{e}_1 \quad (1)$$

где $\vec{M}_{вр}$ - крутящий момент;

C_m – гидродинамический коэффициент, определяемый углом атаки потока.

В ходе исследований была разработана методика расчета рабочего процесса использования тросов и гибких трубопроводов. Она подразумевает оценку связи между критическими параметрами системы при ее параметрических колебаниях. При этом сами колебания описывались периодическими функциями с неизменным периодом [2].

В неподвижной системе координат моделирование троса с колебанием массы m с учетом силы вязкого сопротивления было представлено в виде

$$x_2'' + \frac{\alpha}{m} x_2' + \frac{2F_0}{ml} \left(1 + \frac{\Delta F_{cm}(t)}{F_0} \right) x_2 = 0. \quad (2)$$

где F_0 - осевое усилие в тросе (начальное напряженное состояние);

F_{cm} - статическое усилие в тросе;

l - длина троса;

α – угол отклонения троса от статически устойчивого осевого положения.

С учетом безразмерных переменных $P_0 = \left(\frac{2F_0}{ml} \right)^{\frac{1}{2}}$, $P_0 t = \tau$, $y = lV$

(где P_0 – частота свободных колебаний при $\alpha = \Delta F_1 = 0$) при

$\Delta F_{cm}(t) = \Delta F_0 \cos(\omega t)$ уравнение (2) было записано как

$$V'' + n_4 V' + (1 + n_2 \cos n_3 \tau) V = 0 \quad (3)$$

где : $n_2 = \frac{\Delta F_0}{F_0}$ $n_3 = \frac{\omega}{P_0}$ $n_4 = \frac{\alpha}{mP_0}$.

Приближенное решение уравнения (3) находилось в виде ряда

$$V = \sum_{i=1,3,5} \left(A_i \sin \frac{in_3}{2} \tau + B_i \cos \frac{in_3}{2} \tau \right) \quad (4)$$

Из-за сложности пространственного моделирования работы троса были рассмотрены колебания только в одной плоскости, при которых статическая нагрузка подчинялась закону

$$\Delta F_{cm}(t) = \Delta F_{0x} \cos(\omega t) + \Delta F_{0y} \sin(\omega t) \quad (5)$$

Уравнение (3) было преобразовано в

$$V'' + n_4 V' + (1 + n_2 \cos n_3 \tau + n_2^1 \sin n_3 \tau) V = 0 \quad (6)$$

а его решение уравнения имело вид

$$\left. \begin{aligned} \left(1 - \frac{n_2}{2} - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right) A_1 + \left(\frac{n_2^1}{2} - \frac{n_3 n_4}{2}\right) B_1 &= 0 \\ \left(\frac{n_3 n_4}{2} + \frac{n_2^1}{2}\right) A_1 + \left(1 + \frac{n_2}{2} - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right) B_1 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Уравнение для нахождения критических параметров записывалось как

$$|n_2| = 2 \sqrt{\left(1 - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right)^2 - \left(\left(\frac{n_2^1}{2}\right)^2 - \left(\frac{n_3 n_4}{2}\right)^2\right)} \quad (8)$$

На основании приведенных соотношений были выполнены численные расчеты в ходе которых была найдена зона неустойчивости работы троса.

Выполненная оценка верхней границы области устойчивости работы троса при параметрических колебаниях приведена на рисунке 1, где видно, что зона неустойчивости троса соответствует режиму с $n_4 = 1.921$, а колебания троса при $n_3 > 0$ будут всегда неустойчивыми.

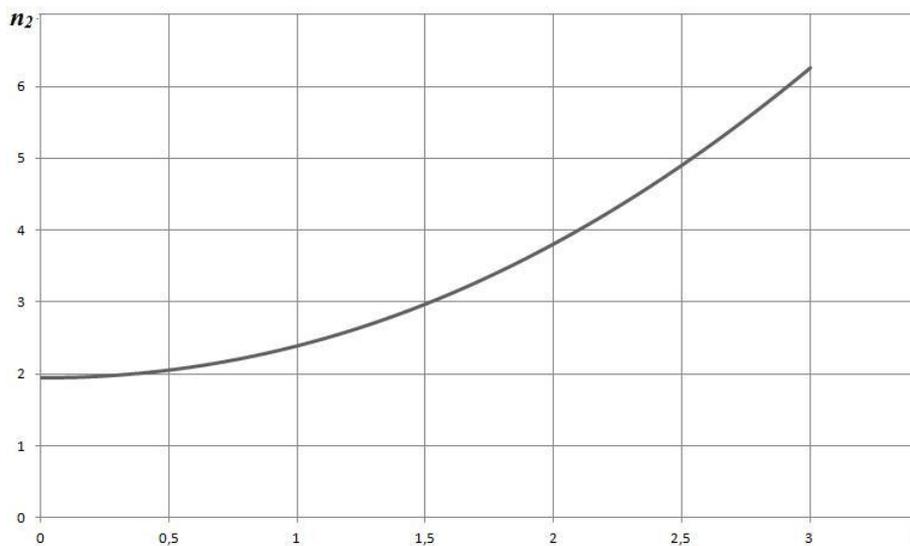


Рисунок 1 – Верхняя граница неустойчивости эксплуатационных характеристик троса при параметрических колебаниях

Литература

1. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.
2. Цай Н. Анализ нелинейного неуставившегося движения тросов с использованием метода диаграмм связи // Труды Американского общества инженеров-механиков. Прикладная механика. – 1972. – т.94, сер. В, № 2. – С. 1–8.