

Каранкевич В. С., *наук. кер. Боронко О.О. д.т.н .проф.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: karankevic95@gmail.com ,
boronko@gmail.com

МАЯТНИКОВИЙ ГАСНИК КОЛИВАНЬ ВОДОНАПІРНОЇ ВЕЖІ

Для гасіння коливань механічних систем використовують додаткові динамічні пристрої, які не входять в основний конструктивний ланцюг. Такі пристрої можуть бути корисні при коливаннях різних видів: повздовжніх, крутильних та згинних [1].

В даній роботі розглядається принцип роботи маятникового гасника коливань водонапірної вежі (рис. 1, рис. 2) в залежності від зміни маси вежі з наступними параметрами:

$M = 1000 \text{ кг}$, $F_0 = 240 \text{ Н}$ $M_1 = 100 \text{ кг}$, частота поривів вітру при $10 \text{ м/с} = 0,4 \text{ Гц}$, $h = 20 \text{ м}$.

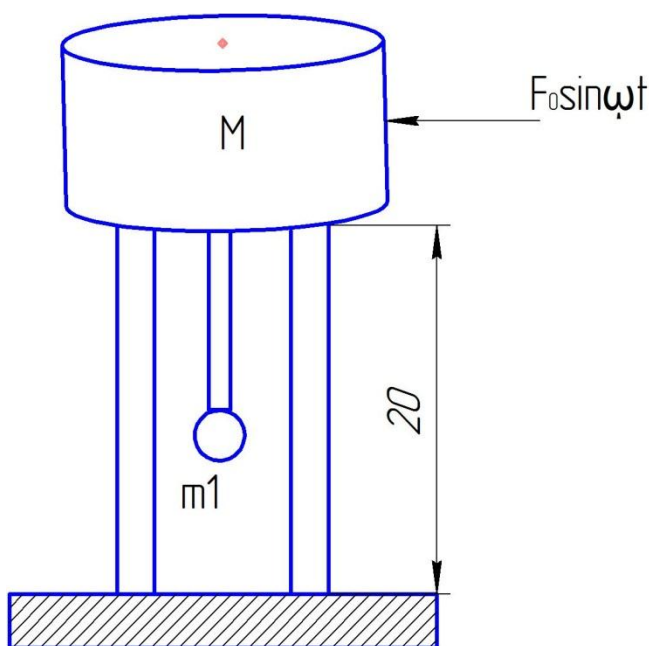


Рис. 1. Конструктивна схема вежі

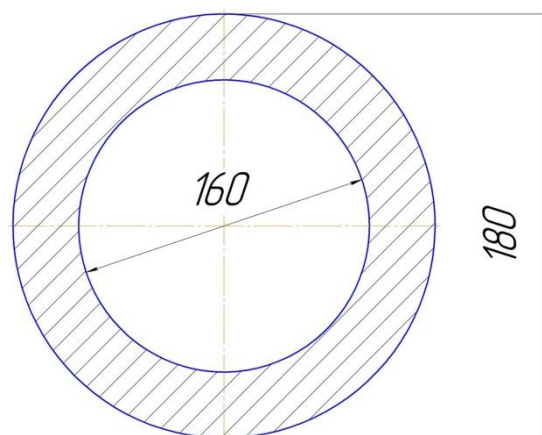


Рис. 2. Поперечний переріз опори

Опора: труба з зовнішнім діаметром $D = 180 \text{ мм}$; внутрішнім $d = 160 \text{ мм}$ (рис. 2). Момент інерції круглого перерізу:

$$I = 0.05D^4(1 - c^4) \quad c = \frac{d}{D}; \quad (1)$$

Реальна конструкція замінюється розрахунковою схемою з одним ступенем вільності (рис. 3) [2]. В залежності від зміни маси вежі визначається довжина маятника для гасіння коливань.

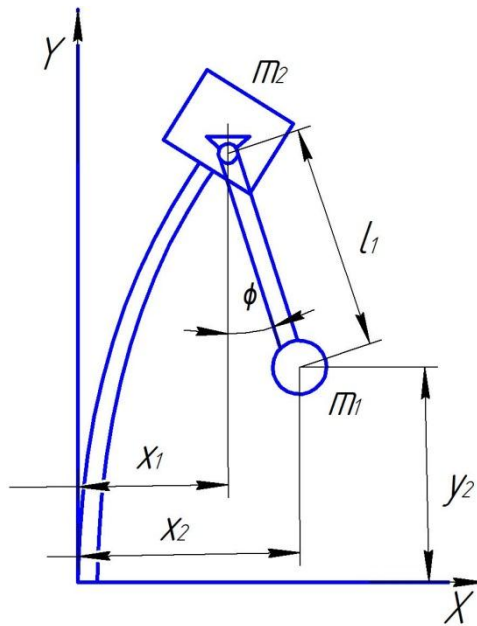


Рис. 3. Розрахункова модель

Визначення власних частот коливання вежі.

Сумарна жорсткість опор, з'єднаних паралельно:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 4c_1 = \frac{12EI}{l^3} = 6303.35 \frac{H}{cm}; \quad (2)$$

Власна частота:

$$\bar{\omega} = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{6303.35}{1000}} = 2,510 \text{ } c^{-1}; \quad (3)$$

Частота поривів вітру $\nu = 0,4$ Гц. (при швидкості 10 м/с).

Колова частота зовнішньої сили:

$$\omega = 2\pi \cdot \nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 = 2,512; \quad (4)$$

$$F = 240 \sin 2,512t; \quad (5)$$

Спростимо задачу, розглянувши опори як єдиний стрижень (рис. 3).

Координати основної маси виражаємо через кут повороту маятника:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 + l_1 \sin \varphi \\ y_1 &= l_1 (1 - \cos \varphi); \end{aligned} \quad (6)$$

Для виведення рівнянь малих коливань скористаємось методом Лагранжа:

$$\begin{aligned} T &= \frac{m_1 \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{x}_2^2}{2} \\ \Pi &= m_1 g l (1 - \cos \varphi) + \frac{c x_2^2}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

Після перетворень отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + c x_2^2 + m_1 l_1 \ddot{\varphi} = 240 \sin 2,512 t \\ m_1 l_1 \ddot{x}_2 + m_1 l_1^2 \ddot{\varphi} + m_1 g l_1 \varphi = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Рішення будемо шукати у вигляді:

$$\begin{aligned}x_2 &= A \sin \omega t \\ \varphi &= B \sin \omega t\end{aligned}\quad (9)$$

Тоді за допомогою метода Крамера амплітуда коливань маси M_1

$$A = \frac{1}{\Delta} [F_0 (gl_1 - l_1^2 \omega^2) m_1] \quad (10)$$

де Δ - визначник системи диференціальних рівнянь.

З формули (10) витікає що амплітуда коливань вежі рівна нулю при:

$$\begin{aligned}gl_1 - l_1^2 \omega^2 &= 0; \\ \omega^2 &= \frac{g}{l_1}.\end{aligned}\quad (11)$$

Звідки:

$$l_1 = \frac{g}{\omega^2} = \frac{9.81}{2.512^2} = 1.55(\text{м}) \quad (12)$$

Отже для того щоб амплітуда коливань башти була наближена до нуля необхідно щоб довжина маятника була 1,55 метрів.

Але так як маса вежі не буде постійною, необхідно й змінювати довжину маятнікового гасника.

Залежність між довжиною і масою:

$$l = \frac{m \cdot g}{c} = \frac{9.8}{6303.35} (м) \quad (13)$$

Представимо залежність у вигляді графіка (рис. 4).

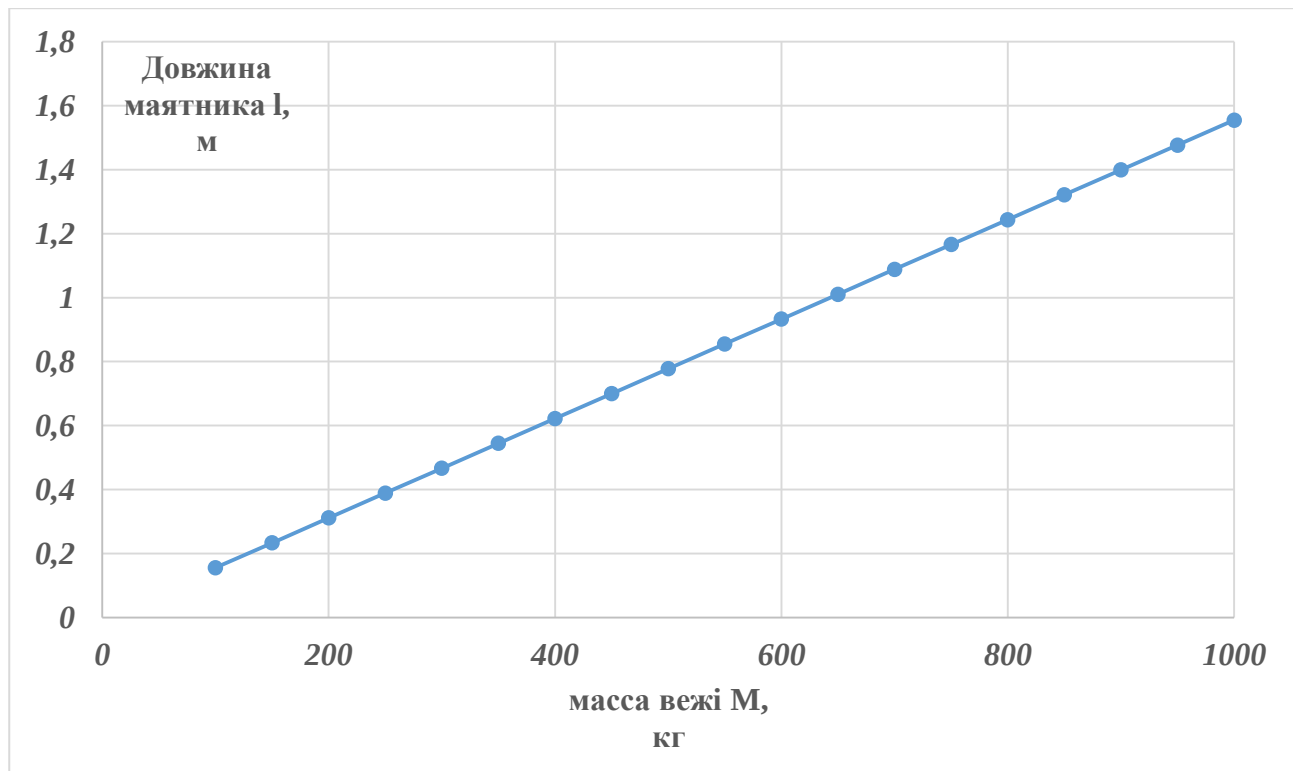


Рис. 4. Графік залежності довжини маятника від зміни маси

Висновок: Для повного погашення коливань основної маси власна частота коливань гасника повинна рівнятися круговій частоті збуджуючої сили.

$$p_1 = \omega \text{ або } \omega^2 = \frac{g}{l_1}. \quad (14)$$

Список використаних джерел

- 1 Василенко М.В. Теория колебаний: Учебное пособие. – К.: Вища школа, 1992. – 430 с.
- 2 Светлицький В.А. Стасенко И. В. Збірник задач з теорії коливань. – М.: Вища школа, 1973. – 451 с.