

© Фідровська Н. М., Палєєв В. В.

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КАНАТНОГО БАРАБАНА ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Міцність стінок канатного барабана забезпечує в певній мірі надійність роботи механізму підйому. Крім цього, визначення геометричних та вагових параметрів барабана також залежить від забезпечення його міцності та сталоті. Методика розрахунку міцності канатного барабана базується на формулі Леме для товстостінної безкінечної труби.

Великий внесок в теорію канатних барабанів зробили такі вчені, як Б.С. Ковальський [1], С.В. Кожин [2], Б.А. Морозов [3] та інші.

При розрахунку канатного барабана вважається, що канат при навивці під натягом T створює радіальний тиск на стінку, який визначається за формулою

$$\rho = \frac{T}{R} \quad (1)$$

де R – радіус барабана.

У багатьох авторів розрахунок спрощується і циліндрична стінка барабана замінюється нескінченною балкою на пружній основі.

Розглянемо барабан як балку кінцевої довжини, защемлену з обох кінців і навантажену постійним зовнішнім тиском.

Ця система буде статично невизначена, тому застосовуємо для її вирішення метод скінчених елементів.

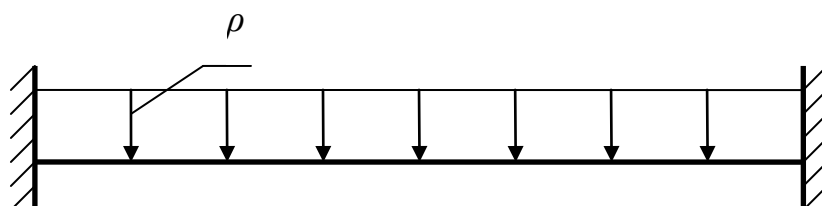


Рис. 1 - Розрахункова схема

Ділимо балку на чотири однакових скінчених елемента. У кожному вузлі визначають лінійні та кутові переміщення.

За граничних вимог впливає що

$$w_1 = 0 \quad w_5 = 0$$

Із симетрії балки і навантаження маємо

$$\omega_2 = \omega_4 \quad \varphi_2 = -\varphi_4 \quad \varphi_1 = -\varphi_5 \quad \varphi_3 = 0$$

Зусилля в додаткових в'язях визначаємо за формулою

$$\begin{Bmatrix} R_i \\ M_i \\ R_j \\ M_j \end{Bmatrix} = EI \begin{Bmatrix} \frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2} & -\frac{12}{l^3} & \frac{6}{l^2} \\ \frac{6}{l^2} & \frac{4}{l} & -\frac{6}{l^2} & \frac{2}{l} \\ -\frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} & \frac{12}{l^3} & -\frac{6}{l^2} \\ \frac{6}{l^2} & \frac{2}{l} & -\frac{6}{l^2} & \frac{4}{l} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

де E – модуль пружності;

I – момент інерції.

Визначаємо зусилля які діють у вузлах скінчених елементів

$$F_1 = \frac{\rho l}{2} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{\rho l}{2} + \frac{\rho l}{2} = \rho l \quad (4)$$

$$F_3 = \frac{\rho l}{2} + \frac{\rho l}{2} = \rho l \quad (5)$$

$$F_4 = F_2 \quad (6)$$

$$F_5 = F_1 \quad (7)$$

$$\Sigma R_2 = F_2 = R_2^1 + R_2^2 \quad (8)$$

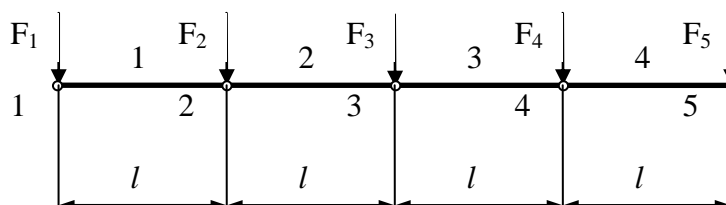


Рис. 2 - Замінена балка

Згибаючи моменти у вузлах

$$M_1 = \frac{\rho l^2}{12} \quad (9)$$

$$M_2 = \frac{\rho l^2}{12} - \frac{\rho l^2}{12} = 0 \quad (10)$$

$$M_4 = -M_2 \quad (11)$$

Вектори вузлових переміщень відповідно для першого і другого скінчених елементів

$$\mathbf{\delta}_1^T = \begin{Bmatrix} 0 \\ \varphi_1 \\ \omega_2 \\ \varphi_2 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

$$\mathbf{\delta}_2^T = \begin{Bmatrix} \omega_2 \\ \varphi_2 \\ \omega_3 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (13)$$

Тоді отримаємо

$$R_1^1 = EI \left(\frac{12}{l^3} \cdot 0 + \frac{6}{l^2} \varphi_1 - \frac{12}{l^3} \omega_2 + \frac{6}{l^2} \varphi_2 \right) = EI \left(\frac{6}{l^2} \varphi_1 - \frac{12}{l^3} \omega_2 + \frac{6}{l^2} \varphi_2 \right) \quad (14)$$

$$R_2^1 = EI \left(-\frac{12}{l^3} \cdot 0 - \frac{6}{l^2} \varphi_1 + \frac{12}{l^3} \omega_2 - \frac{6}{l^2} \varphi_2 \right) = EI \left(-\frac{6}{l^2} \varphi_1 + \frac{12}{l^3} \omega_2 - \frac{6}{l^2} \varphi_2 \right) \quad (15)$$

$$R_2^2 = EI \left(\frac{12}{l^3} \omega_2 + \frac{6}{l^2} \varphi_2 - \frac{12}{l^3} \omega_3 + \frac{6}{l^2} \cdot 0 \right) = EI \left(\frac{12}{l^3} \omega_2 + \frac{6}{l^2} \varphi_2 - \frac{12}{l^3} \omega_3 \right) \quad (16)$$

$$R_2^1 + R_2^2 = EI \left(-\frac{6}{l^2} \varphi_1 + \frac{24}{l^3} \omega_2 - \frac{12}{l^3} \omega_3 \right) \quad (17)$$

$$M_1^1 = EI \left(\frac{6}{l^2} \cdot 0 + \frac{4}{l} \varphi_1 - \frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{2}{l} \varphi_2 \right) = EI \left(\frac{4}{l} \varphi_1 - \frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{2}{l} \varphi_2 \right) \quad (18)$$

$$M_2^1 = EI \left(\frac{6}{l^2} \cdot 0 + \frac{2}{l} \varphi_1 - \frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{4}{l} \varphi_2 \right) = EI \left(\frac{2}{l} \varphi_1 - \frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{4}{l} \varphi_2 \right) \quad (19)$$

$$M_2^2 = EI \left(\frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{4}{l} \varphi_2 - \frac{6}{l^2} \omega_3 + \frac{2}{l} \cdot 0 \right) = EI \left(\frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{4}{l} \varphi_2 - \frac{6}{l^2} \omega_3 \right) \quad (20)$$

$$M_2^1 + M_2^2 = EI \left(\frac{2}{l} \varphi_1 + \frac{8}{l} \varphi_2 - \frac{6}{l^2} \omega_3 \right) \quad (21)$$

Складаємо систему з чотирьох рівнянь

$$\begin{cases} EI \left(\frac{6}{l^2} \varphi_1 - \frac{12}{l^3} \omega_2 + \frac{6}{l^2} \varphi_2 \right) = \frac{\rho l}{2} \\ EI \left(-\frac{6}{l^2} \varphi_1 + \frac{24}{l^3} \omega_2 - \frac{12}{l^3} \omega_3 \right) = \rho l \\ EI \left(\frac{4}{l} \varphi_1 - \frac{6}{l^2} \omega_2 + \frac{2}{l} \varphi_2 \right) = \frac{\rho l^2}{12} \\ EI \left(\frac{2}{l} \varphi_1 + \frac{8}{l} \varphi_2 - \frac{6}{l^2} \omega_3 \right) = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Розв'язуючи її, дістаємо

$$\varphi_1 = \frac{\rho l^3}{EI} \quad (23)$$

$$\omega_2 = \frac{1,33 \rho l^3}{EI} \quad (24)$$

$$\varphi_2 = \frac{8,7 \rho l^3}{EI} \quad (25)$$

$$\omega_3 = \frac{2 \rho l^3}{EI} \quad (26)$$

Зробимо розрахунок, якщо $\rho = 15 \frac{\hat{e} \dot{I}}{\dot{i}}$, а $l = 25H$.

Тоді перший кінцевий елемент буде мати вигляд

$$\begin{Bmatrix} R_1^1 \\ M_1^1 \\ R_2^1 \\ M_2^1 \end{Bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 768 & 96 & -768 & 96 \\ 96 & 16 & -96 & 8 \\ -768 & -96 & 768 & -96 \\ 96 & 8 & -96 & 16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0,015 \\ \frac{EI}{0,02} \\ \frac{EI}{0,13} \\ \frac{EI}{EI} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2,8 \\ -0,88 \\ 2,8 \\ 0,14 \end{Bmatrix} \quad (27)$$

Другий скінчений елемент

$$\begin{Bmatrix} R_2^2 \\ M_2^2 \\ R_3^2 \\ M_3^2 \end{Bmatrix} = EI \begin{bmatrix} 768 & 96 & -768 & 96 \\ 96 & 16 & -96 & 8 \\ -768 & -96 & 768 & -96 \\ 96 & 8 & -96 & 16 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0,02 \\ \frac{EI}{0,13} \\ \frac{EI}{0,03} \\ \frac{EI}{0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,7 \\ 1,11 \\ -4,7 \\ 0,08 \end{Bmatrix} \quad (28)$$

Будуємо епюри поперечних сил згібних моментів та переміщень

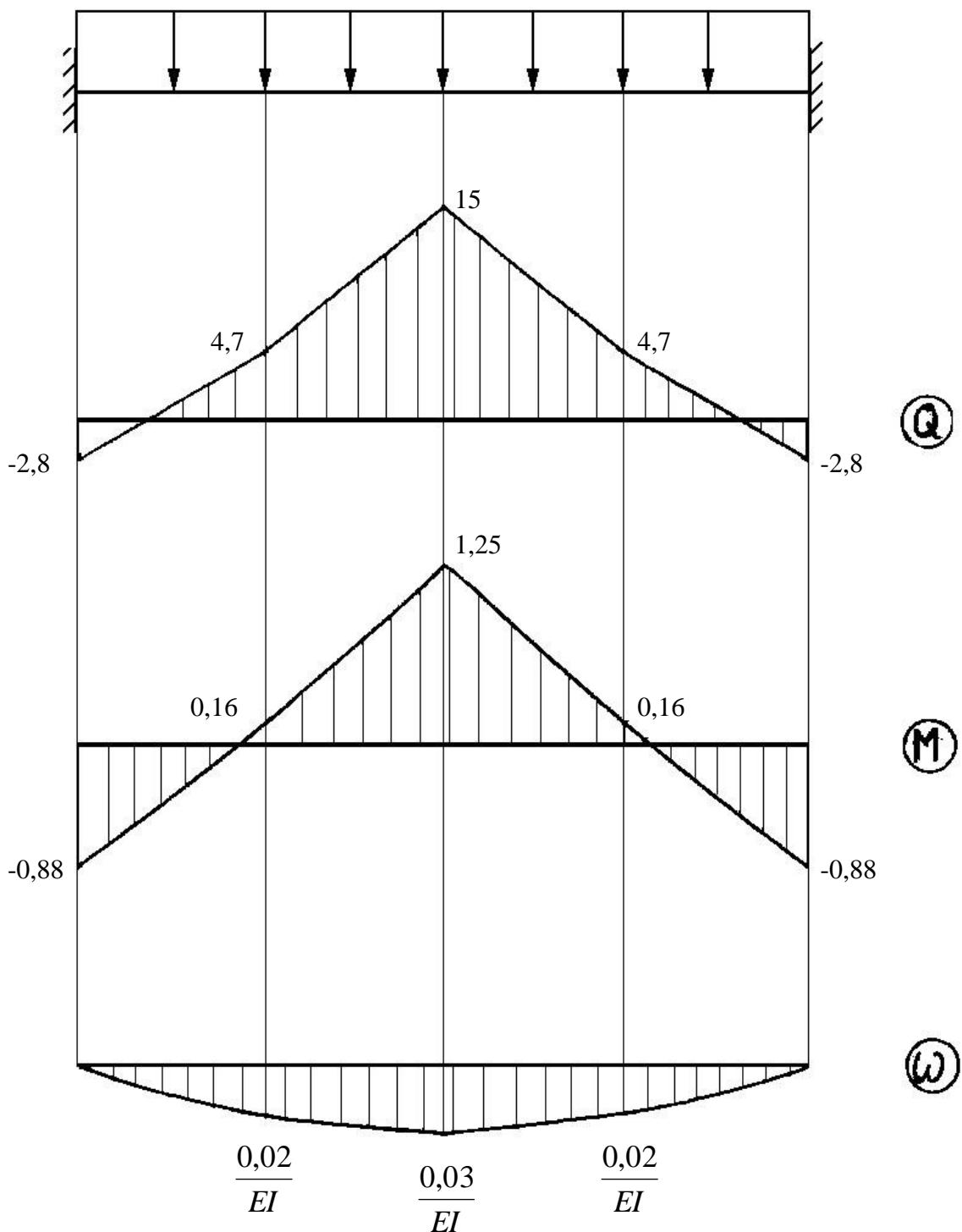


Рис. 3 - Епюри поперечних сил згібних моментів та переміщень

Список використаних джерел

1. Ковальский Б. С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальський, С. В. Кожин. – Х. : ХВКИУ, 1969. – 164с.
2. Кожин С. В. К вопросу о нагрузке барабана при многослойной навивке каната / С. В. Кожин // Труды / ВНИИПТМАШ. – 1962. – Вып. 8.
3. Морозов Б. А. К расчету на прочность тонкостенных барабанов грузоподъемных машин / Б. А. Морозов // Новая подъемно-транспортная техника / ЛОНИТОМАШ. – М., 1949. – Кн. 14.
4. Будівельна механіка металевих конструкцій підйомно-транспортних машин / В. І. Піскунов та ін. – К. : Вища шк., 2004. – 438с.

Фидровская Н. Н., Палеев В. В. Определение прочности канатного барабана с помощью метода конечных элементов

В статье рассматривается стенка канатного барабана как балка защемленная с двух сторон. Используя метод конечных элементов определяем поперечные силы и изгибающие моменты и перемещения в стенке.

Фідровська Н.М., Палєєв В.В. Визначення міцності канатного барабана за допомогою метода скінчених елементів

У статті розглядається стінка канатного барабану як балка, яка защемлена з обох боків. Використовуючи метод скінчених елементів визначаємо поперечні сили, згинні моменти та переміщення у стінці.

Fidrovskaya N. N., Paleev V. V. Determination of durability of rope drum by the method of eventual elements

In article a wall of rope drum is to be considered as a rafter, which is fixed from both sides. Using a method of extreme elements one should define diametrical forces, crooks moments and transferences in the wall.