УДК 621.863.2

©Фідровська Н.М., Григоров О.В.

УТОЧНЕНИЙ РОЗРАХУНОК КАНАТНОГО БАРАБАНУ НА СТІЙКІСТЬ

1. Постановка проблеми

В навчальній літературі розрахунок стійкості канатних барабанів викладається на базі рішення Мізеса 1914 [1], яке пізніше було прийняте в роботах С.П. Тимошенка, Дінніка, А.А. Вайнсона, Дукельського та ін.

В цьому рішенні величина критичного радіального тиску недооцінюється, тому що в ньому не враховувалася пружна заділка країв обичайки, тим більше, що значення цього фактора не мале, так як довжина канатних барабанів невелика. Крім цього, величина радіального тиску, який виникає від намотаного канату, приймався постійним.

2. Мета статті

Метою статті є визначення критичного тиску оболонки кранового оболонки з урахуванням його геометричних параметрів і реальних умов навантаження.

3. Аналіз проблеми

Тиск, який діє на барабан при намотуванні канату внаслідок впливу сили тертя між канатом і барабаном і пружних властивостей канату тиск, буде змінюватися. Максимальний тиск буде діяти в точці сходу канату з барабану. Ми запропонували визначати рівняння зміни радіального тиску у вигляді [2]

$$p = p_0 e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi} \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя між канатом і барабаном;

l – довжина намотки канату;

h – крок намотування канату;

k – коефіцієнт, який враховує геометричні і пружні параметри канату і барабану:

$$k = \frac{E_k d}{E_b \sqrt{R\delta}} \tag{2}$$

де E_k, E_b – модуль пружності відповідно каната і барабана;

d – діаметр барабана;

R – радіус барабана;

δ – товщина оболонки барабану.

Ми отримали функції переміщень стінки барабана у вигляді [3]:

радіальних

$$w(x) = f(x)\cos n\phi \tag{3}$$

де

$$f(x) = \cos(\rho \sin\varphi x)\left(C_1 e^{\rho\cos\varphi x} + C_2 e^{-\rho\cos\varphi x}\right) + Ae^{-k\mu\frac{l-x}{h}2\pi} \tag{4}$$

колових

$$v(x) = \frac{p_0 e^{-k\mu\frac{l-x}{h}2\pi}}{E\delta^2}(\sin\gamma - \upsilon\cos\gamma)(\phi - \pi) - \frac{f(x)\sin n\phi}{n} \tag{5}$$

подовжніх

$$u(x) = \frac{p_0\left(1-\upsilon^2\right)he^{-k\mu\frac{l-x}{h}2\pi}}{2\pi k\mu ER\delta^2}\left[\cos\gamma - \frac{\upsilon}{1-\upsilon^2}(\sin\gamma - \upsilon\cos\gamma)\right]\left(e^{k\mu\frac{2\pi x}{h}} - 1\right) \tag{6}$$

4. Викладення основного матеріалу

Значення критичного тиску можна визначати різними методами. Для оболонок, які працюють в складних випадках навантаження, критичні напруження можна знайти, застосовуючи енергетичний метод з використанням умов суцільної рівноваги.

Запишемо умову рівності робіт внутрішніх і зовнішніх сил ортотропної конструкції, яке знаходиться в індиферентній рівновазі з радіальними переміщеннями w

$$U = \int_0^L \Gamma dx = 0 \tag{7}$$

де потенціальна енергія системи на одиницю довжини [4]

$$\Gamma = \oint \left[\frac{1}{2} m_\phi \chi_\phi + \frac{1}{2} m_x \chi_x + m_{x\phi} \chi_{x\phi} - m_{\phi 0} \chi_\phi \right] R d\phi \tag{8}$$

Підставляючи вирази (3), (4), (5) і (6) в рівняння (8) і вирішуючи рівняння (7) отримаємо

$$\left[\frac{\left(n^2-1\right)^2}{R^2} + \frac{24\left(1-\upsilon^2\right)}{\delta^2} \right] b_1 - 2\upsilon\left(n^2-1\right) b_2 + R^2 b_3 + (1-\upsilon)\frac{\left(n^2-1\right)^2}{n^2} b_4 -$$

$$- \frac{R^2 p_0}{D} b_5 + \frac{R^4 \delta p_0^2 b_6}{DE}\left(1-\upsilon^2\right)^2 \left[\cos\gamma - \frac{\upsilon}{1-\upsilon^2}\left(\sin\gamma - \upsilon\cos\lambda\right) \right]^2 = 0 \tag{9}$$

де

$$b_1 = \frac{\rho}{\varphi}\sin\varphi L\left(\frac{C_1^2}{2} - 2C_2^2 + 2C_1 - 2C_2 - \frac{2C_1C_2}{3}\rho_2 \sin 2\varphi L \right) +$$

$$+ L\left(\frac{\tilde{N}_1^2}{4} e^{2\rho} + C_1C_2 + \frac{2C_1}{\varphi} + \frac{2C_2}{\varphi} \right) + A^2 e^{-k\mu\frac{2\pi L}{h}} \frac{h}{4k\mu\pi}\left(e^{2k\mu\pi\frac{L}{h}} - 1 \right)$$

$$b_2 = \frac{\rho\varphi}{2}\left[\left(e^{2\rho}+1\right)\left(\cos\varphi L - 2\right)\left(C_1^2 - C_2^2\right) + \frac{\rho}{2}\left(\cos 2\varphi L - 2\right)\left(C_1^2 + C_2^2\right) \right] +$$

$$+ \frac{\rho\varphi}{2}\left[\frac{\rho\varphi C_1C_2}{2}\left(1-\cos\varphi L\right)\left(e^{-2\rho}+1\right) + \frac{2\pi k\mu}{h} A^2 e^{-3k\mu\frac{2\pi L}{h}} \left(e^{3k\mu\frac{2\pi L}{h}} - 1 \right) \right] +$$

$$+ \frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} A \left[\frac{h}{2\pi k\mu}\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} - 1 \right) + \frac{\rho}{\varphi} \frac{ e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(\frac{2\pi k\mu}{h}\cos\varphi L + \varphi\sin\varphi L \right) }{ \frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + 4\varphi^2 } \right] -$$

$$-\frac{8\pi^3k^3\mu^3\rho^2A(C_1-C_2)}{h^3\varphi\left(\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+4\varphi^2\right)}+\rho\varphi^2Ae^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{\left(e^{k\mu\frac{2\pi L}{h}}-1\right)\frac{2\pi k\mu}{h}\sin 2\varphi L}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+\varphi^2}-$$

$$2\rho\varphi^3Ae^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{(\cos 2\varphi L-1)(C_2-C_1)}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+\varphi^2}-$$

$$-\frac{\rho^2\varphi}{2}Ae^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}-1\right)\left[\frac{2\pi k\mu}{h}\sin 2\varphi L-2\varphi(\cos 2\varphi L-1)\right]}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+4\varphi^2}(C_1+C_2)$$

$$b_3=\rho^2\varphi^4\left[\frac{\rho}{\varphi}\left(C_1^2+C_2^2\right)\sin\varphi L+\frac{e^{2\rho}L}{2}\left(C_1^2-C_2^2\right)-2C_1C_2L\right]-$$

$$-\frac{4\rho^5\varphi^3C_1C_2}{3}(\cos\varphi L-1)\left(\cos^2\varphi L-2\right)-\rho^2\varphi A\frac{2\pi k\mu}{h}e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}-1\right)-$$

$$-\frac{8\pi^2\rho^2\varphi Ak\mu e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}-1\right)\left[\frac{2\pi k\mu}{h}(\cos 2\varphi L-1)+\varphi\sin 2\varphi L(C_1-C_2)\right]}{h\left(\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+4\varphi^2\right)}+$$

$$+\frac{2\pi^2\rho^3\varphi Ak^2\mu^2e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}(C_1+C_2)\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}-1\right)\left[\frac{2\pi k\mu}{h}(\cos 3\varphi L-1)+3\varphi\sin 3\varphi L\right]}{h^2\left(\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+9\varphi^2\right)}+$$

$$+\frac{6pAk^2\mu^2\pi^2(C_1+C_2)e^{-k\mu\frac{2\pi L}{h}}\left[\frac{2\pi k\mu}{h}(\cos\varphi L-1)-\varphi\sin\varphi L\right]}{h^2\left(\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+\varphi^2\right)}+$$

$$+A\frac{16\pi^3k^3\mu^3}{h^3}e^{-4k\mu\frac{\pi L}{h}}\left(e^{4k\mu\frac{\pi L}{h}}-1\right)$$

$$b_4 = \frac{\pi k\mu}{h} A^2 e^{-4\pi k\mu \frac{L}{h}} \left(e^{4\pi k\mu \frac{L}{h}} - 1 \right) -$$

$$-4\pi\varphi\rho \frac{k\mu}{h} A e^{-k\mu \frac{2\pi L}{h}} (C_1 - C_2) \frac{\left(e^{k\mu \frac{2\pi L}{h}} - 1 \right) \left[\frac{2\pi k\mu}{h} \sin\varphi L - \varphi(\cos\varphi L - 1) \right]}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + \varphi^2} +$$

$$+2\pi\rho^2 \frac{k\mu}{h} A e^{-k\mu \frac{2\pi L}{h}} (C_1 + C_2) \left(e^{k\mu \frac{2\pi L}{h}} - 1 \right) \frac{2\varphi(\cos 2\varphi L - 1) - \frac{2\pi k\mu}{h} \sin 2\varphi L}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + 4\varphi^2}$$

$$b_5 = \frac{Ah}{4\pi k\mu} + e^{-k\mu \frac{2\pi L}{h}} (C_1 + C_2) \frac{h}{2\pi\mu k} \left(e^{k\mu \frac{2\pi L}{h}} - 1 \right) +$$

$$+\rho \left(C_1 + \frac{C_2}{2} \right) \frac{\frac{\pi k\mu}{h} (\cos\varphi L - 1) + \varphi \sin\varphi L}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h} + \varphi^2}$$

$$b_6 = \frac{h}{4\pi k\mu} \left(1 - e^{-k\mu \frac{2\pi L}{h}} \right)$$

Тоді критичний тиск буде визначатися за формулою

$$p_{kp} = \frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{a_1^2}{4} + a_2}\,, \tag{10}$$

де

$$a_1 = \frac{E b_5}{1{,}172 R^2 \delta (1 - \upsilon)^2 b_6}$$

$$a_2 = 2\upsilon (n^2 - 1) b_2 - \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \upsilon^2)}{\delta^2} \right] b_1 - R^2 b_3 - (1 - \upsilon) \frac{(n^2 - 1)^2}{n^2} b_4$$

Висновки

Проведені розрахунки дають можливість визначення критичного тиску з урахуванням геометричних і пружних властивостей канату і стінки барабану, жорсткості закріплення лобовин. Це значно покращує розрахунок барабанів на стійкість і дає змогу приймати при їх проектуванні більш точні розміри, при цьому зменшуючи металомісткість механізму підйому.

Список використаних джерел:

1. Mises R. Der kritishe Aussendruck zylindrische Rohre / R. Mises // Zeitshrift der VDI. – 1914. – Bd. 58, №19. – S. 750–755.

2. Фідровська Н. М. Циліндрична оболонка при вісі несиметричному тиску / Н. М. Фидровська // Науковий вісник будівництва. – Х. : ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 47. – С. 151–155.

3. Фидровская Н. Н. Влияние краевых шпангоутов на прогиб стенки цилиндрической оболочки / Н. Н. Фидровская // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Х., 2009. – Вип. 76. – С. 169–172.

4. Кан С. Н. Строительная механика оболочек / С. Н. Кан. – М. : Машиностроение,1966. – 508 с.

Фідровська Н.М., Григоров О.В. «Уточнений розрахунок канатного барабану на стійкість».

В статті розглянуті питання стійкості оболонки кранового барабана з використанням енергетичного методу. Отримані рішення дозволяють оцінити стійкість оболонки реального барабана з урахуванням його геометричних і силових параметрів.

Ключові слова: розрахунок, канатний барабан, енергетичний метод, стійкість.

Фидровская Н.Н., Григоров О.В. «Уточненный расчет канатного барабана на устойчивость».

В статье рассмотрены вопросы стойкости оболочки кранового барабана с использованием энергетического метода. Полученные решения позволяют оценить стойкость оболочки реального барабана с учетом его геометрических и силовых параметров.

Ключевые слова: расчет, канатный барабан, энергетический метод, устойчивость.

Fidrovska N.M., Grigoriv O.V. “Refined calculation rigidity of rope drum”

There had been considered the questions of the solidity of rope’s drum, with the use of energetic method. The gained result could let to evaluate the solidity of a real drum, considering its geometrical and force parameters.

Key words: calculation, rope drum, energy method, rigidity.

Стаття надійшла до редакції 7 грудня 2011 р.