

УДК 621.863.2

УТОЧНЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ КАНАТНИХ БАРАБАНІВ

©Фідровська Н. М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Прогин циліндричної оболонки отриманий з урахуванням впливу жорсткості закріплення країв. При цьому подано рішення оболонки, яка навантажена нерівномірним зовнішнім тиском.

Ключові слова: барабан, методика розрахунків, канат, оболонка, зовнішній тиск.

Фидровская Н. Н. «Уточненная методика расчетов канатных барабанов».

Прогиб цилиндрической оболочки определен с учетом влияния жесткости заделки краев. При этом дается решение оболочки, нагруженной неравномерным внешним давлением.

Ключевые слова: барабан, методика расчетов, канат, оболочка, внешнее давление.

Fidrovska N. M. “Adjusted methodology of calculations of rope drums”.

We should define the bending of cylindrical shell considering the influence of acerbity of sides sealing off. Herewith there should be given the solution of a shell, loading with uneven word pressure.

Key words: drum, methodology of calculations, rope, shell, external pressure.

1. Постановка проблеми

Наближені розрахунки канатних барабанів, які застосовуються в конструкторській практиці, часто виявляються недостатніми.

2. Аналіз відомих рішень

Стійкість обичайки канатного барабана перевіряють, користуючись формулою Р. Мізеса, яку він отримав в 1914 році, а потім відтворену в курсах прикладної теорії С.Л. Тимошенка, А.М. Дінніка, П.Ф. Папковича та інших спеціалістів з теорії пружності.

3. Запропонована методика

Були проведені теоретичні та експериментальні дослідження, які показали, що в дійсності навантаження елементів барабана відрізняється від тих розрахункових моделей які мають місце в навчальній та довідковій літературі. Була розроблена спрощена методика розрахунку обичайки канатного барабана:

а) Розрахунок на міцність:

З невеликою похибкою можна прийняти, що максимальний прогин обичайки барабана, який вираховуємо по формулі [1], дорівнює (при $x = l$) коефіцієнту А

$$w = A,$$

В свою чергу, коефіцієнт А, який ми визначаємо за формулою [2], можна спрощено прийняти у вигляді

$$A = \frac{a_3}{a_2} = \frac{T_0 R^2}{RDh \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \nu^2)}{\delta^2} \right]} = \frac{T_0 R}{Dh \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \nu^2)}{\delta^2} \right]},$$

- де R – радіус середньої поверхні обичайки барабана;
 T_0 – максимальне натягнення каната (в точці сходу з барабана);
 δ – товщина обичайки;
 h – крок навивки каната;
 ν – коефіцієнт Пуассона;
 D – циліндрична жорсткість обичайки барабана

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Кільцеві нормальні напруження в обичайці визначаємо за формулою

$$\sigma_\varphi = \frac{w(x)}{R} E = \frac{T_0 R E}{DhR \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \nu^2)}{\delta^2} \right]} = \frac{12(1 - \nu^2) T_0}{\delta^3 h \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \nu^2)}{\delta^2} \right]}$$

Враховуючи, що $\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{24(1 - \nu^2)}{\delta^2}$, приймаємо

$$\sigma_\varphi = \frac{T_0}{2\delta h},$$

Ця формула дозволяє попередньо вибрати товщину обичайки барабана:

$$\delta \geq \frac{T_0}{2h[\sigma]}$$

Прийняту товщину обичайки барабана потім перевіряють по уточненій методиці.

б) Розрахунок на стійкість

Визначаємо критичний тиск за формулою [3]

$$p_{kp} = \frac{(b_1 - a_1 b_2 + a_2 b_3 + a_3 b_4) D}{\operatorname{Re}^{-k\mu \frac{l}{h} 2\pi}},$$

де коефіцієнти a_1, a_2, a_3 визначаємо за формулами:

$$a_1 = \frac{2(n^2 - 1)\nu}{R^2}, \quad a_2 = \frac{2(1 - \nu)(n^2 - 1)^2}{R^2},$$

$$a_3 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{12(1 - \nu^2)}{\delta^2} \right].$$

Коефіцієнти b_1, b_2, b_3, b_4 визначаємо по спрощеним формулам:

$$b_1 = \frac{\rho^4 \psi^4 L}{4} \left[C_1^2 \left(1 + \frac{1}{2\psi} \right) + C_2 (C_1 + C_2) \left(e^{-2\rho} + \frac{1}{2\psi} \right) + \frac{2(C_1^2 + C_2^2)}{\psi} \right],$$

$$b_2 = A \left(e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} - 1 \right) \left[\frac{2A\pi k\mu}{h} e^{-k\mu \frac{L}{h} 4\pi} - \frac{\rho^2 \psi^2 h (C_1 - C_2)}{4\pi k\mu} e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \right] - \rho \psi L \left(C_1 C_2 e^{-2\rho} + \frac{\rho C_1^2}{2} + \frac{\rho C_2^2}{2} \right)$$

$$b_3 = \frac{\rho^2 \psi^2 L}{2} \left[\frac{C_1^2 + C_2^2}{2\psi} - C_1 C_2 \left(1 + \frac{e^{-2\rho}}{\psi} \right) \right] + \frac{2A^2 \pi k\mu}{h} e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \left(e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} - 1 \right),$$

$$b_4 = \frac{L}{2\psi} \left[(C_1 + C_2)^2 + C_2^2 \psi e^{2\rho} + 2C_1 C_2 \psi^2 e^{-\rho} \right] + \frac{C_2^2 e^{-2\rho}}{2\psi} +$$

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

Коефіцієнти C_1 і C_2 визначаються по спрощеним формулам:

$$C_1 = \frac{2 + \nu(n^2 - 1)}{J_0 R} \left[e^{-\rho} - \frac{\cos \psi L}{e^{\rho \cos \psi L} \cos \psi L - e^{\rho(2 - \cos \psi L)} (\cos 2\psi L - \cos \psi L)} \right],$$

$$C_2 = - \frac{[2 + \nu(n^2 - 3)] i_m^2}{J_0 \operatorname{Re}^{-\rho(2 - \cos \psi L)}}$$

де i_m – погоний момент інерції перерізу лобовини,

J_0 – момент інерції лобовини,

L – довжина оболонки,

$$\rho = \sqrt[4]{a_2}; \quad \psi = \frac{\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4a_2}{a_1^2 - 1}}}{2}.$$

Крім цього була розроблена уточнена методика розрахунку обичайки канатного барабана

а) Розрахунок обичайки барабана на міцність

Визначаємо максимальний прогин оболонки

$$f(x)_{\max} = \frac{[\sigma]}{E} R,$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруження.

Максимальний прогин можна записати наступним рівнянням

$$f(x)_{\max} = \cos(\rho \sin \psi l) (C_1 e^{\rho \cos \psi l} + C_2 e^{-\rho \cos \psi l}) + A$$

Коефіцієнт k визначаємо по формулі [4]

$$k = \frac{E_k d_k}{E_b \sqrt{R\delta}},$$

де E_k, E_b – відповідно модулі пружності каната і барабана,

d_k – діаметр каната.

Таким чином, ми отримали рівняння $f(x)_{\max}$, з якого можна визначити мінімальну товщину оболонки барабана, тобто $\delta = \theta(d_k, \mu, R, L, h, l, E_k, E_b)$

б) Розрахунок обичайки барабана на стійкість

Визначаємо критичний тиск за формулою [5]

$$p_{kp} = \frac{(b_1 - a_1 b_2 + a_2 b_3 + a_3 b_4) D}{\operatorname{Re}^{-k\mu \frac{l}{h} 2\pi}},$$

де коефіцієнти a_1, a_2, a_3 визначаємо за формулами

$$a_1 = \frac{2(n^2 - 1)v}{R^2}, \quad a_2 = \frac{2(1-v)(n^2 - 1)^2}{R^2}, \quad a_3 = \frac{1}{R^2} \left[\frac{(n^2 - 1)^2}{R^2} + \frac{12(1-v^2)}{\delta^2} \right].$$

Коефіцієнти b_1, b_2, b_3, b_4 визначаємо по спрощеним формулам

$$b_1 = \frac{\rho^4 \psi^4 L}{4} \left[C_1^2 \left(1 + \frac{1}{\rho^2} \right) \left(e^{2\rho} + \frac{1}{2\psi} \right) + C_2 (C_1 + C_2) \left(e^{-2\rho} + \frac{1}{2\psi} \right) + \frac{2(C_1^2 - C_2^2)}{\psi} \right] +$$

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

$$b_2 = \frac{A\rho\psi(C_1 + C_2)}{2} (\rho^2 - \psi) \frac{2\pi k \mu}{h} \cos \psi L + \psi \sin \psi L}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + \psi^2} - \rho\psi L \left(C_1 C_2 e^{-2\rho} + \frac{\rho C_1^2}{2} + \frac{\rho C_2^2}{2} \right) +$$

$$+ \frac{2A^2 \pi k \mu}{h} e^{-k\mu \frac{l}{h} 4\pi} \left(e^{k\mu \frac{l}{h} 4\pi} - 1 \right) - \frac{A\rho^2 \psi^2 h (C_1 - C_2)}{4\pi k \mu} e^{-k\mu \frac{l}{h} 2\pi} \left(e^{k\mu \frac{l}{h} 2\pi} - 1 \right),$$

$$b_3 = \frac{\rho^2 \psi^2 L}{2} \left[\frac{C_1^2 + C_2^2}{2\psi} - C_1 C_2 \left(1 + \frac{e^{-2\rho}}{\psi} \right) \right] - \frac{4\pi \rho \psi k \mu (C_1 + C_2) \left(\frac{2\pi k \mu}{h} \sin \psi L - \psi \cos \psi L \right)}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + \psi^2} +$$

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

$$b_4 = \frac{L}{2\psi} \left[(C_1 + C_2)^2 + C_1^2 \psi e^{2\rho} + 2C_1 C_2 \psi^2 e^{-\rho} \right] + \frac{C_2^2 e^{-2\rho}}{2\psi} + \frac{Ah(C_1 - C_2)}{\pi \psi k \mu} e^{-k\mu \frac{l}{h} 2\pi} \left(e^{k\mu \frac{l}{h} 2\pi} - 1 \right) +$$

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

Висновки

Методика розрахунків канатних барабанів, яка запропонована у статті, дає можливість визначити геометричні параметри барабана з урахуванням пружних характеристик каната і барабана, нерівномірності навантаження, коефіцієнта тертя між канатом і барабаном, пружності закріплення лобовин.

Список використаних джерел:

1. Фідровська Н. М. Вісінесиметричний стиск циліндричної оболонки / Н. М. Фідровська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. пр. – Х., 2008. – № 9. – С. 145–150.
2. Фідровська Н. М. Нові аспекти розрахунків канатних барабанів / Н. М. Фідровська // Праці X Міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. – Львів, 2011. – С. 272–274.
3. Фідровська Н. М. Уточнений розрахунок канатного барабана на стійкість / Н. М. Фідровська, О. В. Григоров // Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2011. – Вип. 7-8. – С. 32–38.
4. Фідровська Н. М. Канатні барабани : монографія / Н. М. Фідровська.- Х. : НТНТ, 2012. – 195 с.
5. Фідровська Н. М. Стійкість оболонки канатних барабанів / Н. М. Фідровська // Машинознавство. – 2011. – № 5-6. – С. 27–29.

Стаття надійшла до редакції 13 травня 2014 р.