

УДК 621.863.2

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ КАНАТНОГО БАРАБАНА

Д-р техн. наук Н.М. Фідровська

НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ КАНАТНОГО БАРАБАНА

Д-р техн. наук Н.Н. Фидровская

NEW APPROACH FOR CALCULATION OF ROPED DRUM

Doctor of science N. Fidrovska

У статті розглянута проблема циліндричної оболонки канатного барабана під дією несиметричного навантаження. На основі встановлених закономірностей вплив різних параметрів каната і барабана розроблена уточнююча методика розрахунку обичайки канатного барабана, яка дозволяє реально оцінити напружений стан обичайки барабана, яка переоцінювалася в 1,5-2 рази розрахунками, які проводилися до цього.

Ключові слова: канатний барабан, сили тертя, геометричні та пружні властивості, критичне навантаження.

В статье рассмотрена проблема цилиндрической оболочки канатного барабана под действием несимметричной нагрузки. На основании установленной закономерности влияния различных параметров каната и барабана разработана уточненная методика расчета обечайки канатного барабана, которая позволила реально оценить напряженное состояние обечайки барабана, которое переоценивалось проводимыми ранее расчетами в 1,5-2 раза.

Ключевые слова: канатный барабан, силы трения, геометрические и упругие свойства, критическая нагрузка.

In article one should solve the problem of cylindrical casings walls sag of roped drum which is occupied with asymmetrical load using equation of Eelier for variation task. On the ground of established regularity of influence different characteristics of rope and drum the refined design procedure of rope drum shell ring is developed that allowed to appraise real the stress condition of drum shell ring that was overrated by earlier calculations up 1,5-2 times.

Key words: rope drum, friction forces, geometry and elastic response, critical load.

Вступ. Розрахунки міцності кранових барабанів базуються на рішенні Ламе 1852 [1] року, яке отримано для навантаження товстостінної нескінченної труби, що зовсім не відповідає розмірам канатних барабанів, які можна віднести до тонкостінних оболонок, які під дією зовнішнього тиску можуть втратити не міцність, а стійкість. Наближеність цієї формули для випадку канатних барабанів очевидна, тому що вона не враховує ні довжини барабана, ні напруження біля лобовин та ребер жорсткості. Крім цього, враховуючи змінність натягу каната в результаті його пружності та дії сил тертя, зрозуміло, що тиск на барабан не може бути постійним.

В навчальних посібниках, монографіях, довідниках розрахунки на стійкість канатних

барабанів базуються на дослідженні Р.Мізеса [2], який розглядав гладку тонкостінну трубу, краї якої вільно опираються. Але в цьому рішенні величина критичного тиску недооцінювалася, тому що не було враховано закріплення країв і довжина оболонки, а також тиск приймався постійним по всій довжині оболонки і мав максимальне значення.

Це приводить до безпідставного збільшення товщини стінки барабана або підсилено її кільцями або ребрами.

Аналіз останніх досліджень. Наближені розрахунки барабанів вантажопідіймальних машин часто виявляються недостатніми [3,4,5,6,7]. Головним недоліком формул, які застосовуються для розрахунків канатних барабанів, являється недооцінка міцності

циліндричної оболонки барабана, і в наслідок цього, більша металоемкість.

При контакті каната і барабана між ними виникають сили тертя, які необхідно враховувати при розрахунках як каната, так і барабана. Досить часто при цьому використовують залежність Ейлера, отриману для тертя нитки по шківу. При цьому, як правило, не обмежують область застосування цієї формули і наводять деякі моменти, які суттєво впливають на формування сил тертя між гнучким органом та поверхнею, яка огинається.

Основна частина дослідження. Але канат представляє собою досить складну пружну систему, яка в значній мірі відрізняється від нерозтягнутої нитки. Для врахування пружних і геометричних властивостей каната і барабана вводимо поправочний коефіцієнт k [8]

$$k = \frac{E_k d_k}{E_b \sqrt{R\delta}} \quad (1)$$

де d_k - діаметр каната;

E_k , E_b - модулі пружності відповідно каната і барабана;

R - радіус барабану;

δ - товщина стінки барабану.

Тоді натягнення канату буде змінюватися за наступним законом

$$w = \left[\cos(\rho \sin \varphi x) (C_1 e^{\rho \cos \varphi x} + C_2 e^{-\rho \cos \varphi x}) + A e^{-k\mu \frac{l-x}{h}} \right] \cos n\phi, \quad (3)$$

де

$$C_1 = \frac{2 + \nu(n^2 - 3) - \frac{4\pi^2 k^2 \mu^2 R^2}{h^2}}{J_0 R} \times$$

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

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

$$T = T_0 e^{-k\mu\alpha} \quad (2)$$

де T_0 - натягнення канату в точці сходу з барабана;

μ - коефіцієнт тертя;

α - кут навивки каната на барабан.

Підставляючи цю формулу в систему рівнянь Кірхгофа для елемента каната, навитого на барабан, можна отримати осьову і поперечні сили і нормальне навантаження в залежності від геометричних і пружних властивостей каната і барабана.

Наближеність цієї формули для випадку канатних барабанів очевидна, тому що вона не враховує ні довжини барабана, ні напруження біля лобовин та ребер жорсткості. Крім цього, враховуючи змінність натягу каната в результаті його пружності та дії сил тертя, зрозуміло, що тиск на барабан не може бути постійним.

Використовуючи енергетичний метод рішення варіаційної задачі для циліндричної оболонки, розроблений С.Н.Каном, відмовившись від двох прийнятих ним гіпотез про відсутності зсуву в серединній поверхні і розтягненні оболонки в окружному напрямку, була отримана формула для визначення прогину оболонки барабану в залежності від жорсткості закріплення країв та нерівномірності навантаження.

$$C_2 = \frac{\left[\frac{4\pi R^2 k^2 \mu^2}{h^2} - 2 - \nu(n^2 - 3) \right] i_m^2 (\cos \varphi L + \rho \cos 2\varphi L)}{J_0 \operatorname{Re}^{-\rho(2-\cos \varphi L)} (\cos \varphi L + \rho \cos 2\varphi L)}.$$

Умова рівності робіт внутрішніх і зовнішніх сил ортотропної конструкції, яка знаходиться в стані байдужої рівноваги з радіальним переміщенням [9]

$$U = \int_0^L \Gamma dx = 0, \quad (4)$$

$$B = \frac{1}{2} m_\varphi \chi_\varphi + \frac{1}{2} m_{x\text{dop}} \chi_x + m_{x\varphi\text{dop}} \chi_{x\varphi} + \frac{\delta}{2} \sigma_{x\text{dop}} \varepsilon_x + \frac{\delta}{2} \sigma_\varphi \varepsilon_\varphi - m_{\varphi_0} \chi_\varphi,$$

де $(-m_{\varphi_0} \chi_\varphi = -p_{kp} w)$ представляють собою потенціал зовнішніх сил, взятий з оборотним знаком.

Робота радіального навантаження p_{kp} на радіальні переміщення w дорівнює нулю, так як $\int_0^L \cos n\varphi d\varphi = 0$. Але від навантаження p_{kp} в оболонці виникають кільцеві зусилля

де потенційна енергія системи на одиницю довжини

$$\Gamma = \int_0^L BR d\varphi, \quad (5)$$

де

$\sigma_\varphi \delta = p_{kp} R$, які на радіальних переміщеннях w створюють кільцеві моменти згину $p_{kp} R w$.

Ці моменти в свою чергу виконують роботу внаслідок зміни кривизни χ_φ .

Коефіцієнт $\frac{1}{2}$ пов'язаний з тим, що радіальні переміщення, які визначають кільцеві моменти $p_{kp} R w$, змінюються поступово.

Підставляємо переміщення у вигляді, який був отриманий нами раніше:
- радіальні

$$w = f(x) \cos n\varphi,$$

де
колові

$$f(x) = \cos(\rho \sin \phi x) (C_1 e^{\rho \cos \phi x} + C_2 e^{-\rho \cos \phi x}) + A e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi}; \quad (6)$$

$$\nu = \frac{T_0 \operatorname{Re}^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi}}{E\delta} (\sin \gamma - \nu \cos \gamma) (\varphi - \pi) - \frac{f(x) \sin n\varphi}{n}; \quad (7)$$

$$u = \frac{T_0 (1-\nu^2) h e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi}}{2\pi k \mu E \delta} \left[\cos \gamma - \frac{\nu}{1-\nu^2} (\sin \gamma - \nu \cos \gamma) \right] \left(e^{k\mu \frac{2\pi x}{h}} - 1 \right). \quad (8)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \Gamma = & \frac{\pi D}{2R} \left\{ \left[\frac{(n^2-1)^2}{R^2} + \frac{24(1-\nu^2)}{\delta^2} \right] f^2(x) - 2\nu(n^2-1) \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} f(x) \right\} + \\ & + \frac{\pi D}{2R} \left[R^2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 + (1-\nu) \frac{(n^2-1)^2}{n^2} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 - \frac{R^2 p_o}{D} e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi} f(x) \right] \\ & + \frac{\pi R^3 \delta p_o^2 (1-\nu^2) e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi}}{2E} \left[\cos \gamma - \frac{\nu}{1-\nu^2} (\sin \gamma - \nu \cos \gamma) \right]^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Враховуючи те, що останній член рівняння на декілька порядків менше останніх членів рівняння з невеликою погрішністю ним можна знехтувати.

Тоді після інтегрування виразу (9) отримаємо

$$U = \int_0^L \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)^2 - a_1 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} f(x) + a_2 \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + a_3 f^2(x) - \frac{2p_0}{D} e^{-k\mu \frac{l-x}{h} 2\pi} f(x), \quad (10)$$

де

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{2(n^2-1)\nu}{R^2}; \\ a_2 &= \frac{2(1-\nu)(n^2-1)^2}{R^2}; \\ a_3 &= \frac{1}{R^2} \left[\frac{(n^2-1)^2}{R^2} + \frac{12(1-\nu^2)}{\delta^2} \right]. \end{aligned}$$

Після інтегрування рівняння (5.16) отримаємо

$$U = b_1 - a_1 b_2 + a_2 b_3 + a_3 b_4 - \frac{2p_0}{D} e^{-k\mu \frac{l}{h} 2\pi} b_5 = 0, \quad (11)$$

де

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{\rho^4 \varphi^4}{4} \left(L + \frac{\sin 4\varphi L}{2\varphi} \right) \left[C_1^2 \left(e^{2\rho} + \frac{1}{2\varphi} \right) + C_2 (C_1 + C_2) \left(e^{-2\rho} + \frac{1}{2\varphi} \right) \right] + \\ & + \frac{\rho^5 \varphi^2}{4} (C_1^2 - C_2^2) \left(\frac{1}{5} \sin 5\varphi L + \frac{1}{3} \sin 3\varphi L \right) - \\ & - \rho^5 \varphi^2 C_1 C_2 e^{-2\rho} \left(\frac{1}{10} \sin 5\varphi L + \frac{1}{6} \sin 3\varphi L + 5 \sin \varphi L \right) + \\ & + \frac{\rho^3 \varphi^3 C_1^2}{2} \left[\left(e^{2\rho} + \frac{1}{\varphi} \right) \left(\frac{\sin 3\varphi L}{3} + \sin \varphi L \right) \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & +\rho^4\varphi^3(C_1^2-C_2^2)\left(\frac{\sin 4\varphi L}{8\varphi}+\frac{\sin 2\varphi L}{\varphi}+\frac{L}{2}-\frac{\sin \varphi L}{\varphi}\right)- \\
 & -\frac{\rho^3\varphi^3C_2^2}{2}\left(e^{-2\rho}+\frac{1}{\varphi}\right)\left(\frac{\sin 3\varphi L}{3}+\sin \varphi L\right)+\frac{\rho^2\varphi^4C_1^2}{4}\left(e^{2\rho}+\frac{1}{\varphi}\right)\left(L+\frac{\sin 2\varphi L}{2\varphi}\right)+ \\
 & +\frac{\rho^3\varphi^2(C_1^2-C_2^2)}{4}\left(\frac{\sin 3\varphi L}{3}+3\sin \varphi L\right)+\frac{\rho^2\varphi^4C_2(C_2-C_1)}{4}\left(e^{-2\rho}+\frac{1}{\varphi}\right)\left(L+\frac{\sin 2\varphi L}{2\varphi}\right)- \\
 & -\frac{\rho^3\varphi^3C_1C_2}{2}\left(\frac{\sin 3\varphi L}{3}+3\sin \varphi L\right)+ \\
 & +2A\rho^2C_1e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}\left[\sin \varphi L+\rho\left(L+\frac{\sin 2\varphi L}{2}\right)\right]- \\
 & -2A\rho^2\varphi(C_1+C_2)\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(\frac{2\pi k\mu}{h}\cos 2\varphi L+2\varphi\sin 2\varphi L\right)-\frac{2\pi k\mu}{h}}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+4\varphi^2}+ \\
 & +\frac{A\rho^32\pi^2k^2\mu^2}{h^2}(C_2-C_1)e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(\frac{2\pi k\mu}{h}\cos 3\varphi L+3\varphi\sin 3\varphi L\right)-\frac{2\pi k\mu}{h}}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+9\varphi^2}+ \\
 & +\frac{A\rho^32\pi^2k^2\mu^2}{h^2}(C_2-C_1)e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\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{2\pi k\mu}{h}}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+\varphi^2}- \\
 & -2A\rho\varphi\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}(C_1-C_2)e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\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{2\pi k\mu}{h}}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+\varphi^2}- \\
 & -A\rho^2\varphi\frac{\pi k\mu}{h}(C_1+C_2)e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}-1\right)- \\
 & -A\rho^2\varphi\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}(C_1+C_2)e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi}\frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi}\left(\frac{2\pi k\mu}{h}\cos 2\varphi L+2\varphi\sin 2\varphi L\right)-\frac{2\pi k\mu}{h}}{\frac{4\pi^2k^2\mu^2}{h^2}+4\varphi^2}+
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + A^2 \frac{8\pi^3 k^3 \mu^3}{h^3} e^{-k\mu \frac{L}{h} 4\pi} \left(e^{k\mu \frac{L}{h} 4\pi} - 1 \right) \\
 b_2 = & - \frac{\rho^2 \varphi C_1^2}{2} \left[\frac{\sin 2\varphi L}{2} \left(\frac{1}{\varphi} - e^{2\rho} \right) + \frac{\rho}{\varphi} \left(\frac{\sin 3\varphi L}{3} + \sin \varphi L \right) \right] - \\
 & - \rho^2 \varphi C_1 C_2 \left[\frac{\sin 2\varphi L}{2} + e^{-2\rho} L + \frac{\rho}{\varphi} e^{-2\rho} \left(\frac{\sin 3\varphi L}{3} + \sin \varphi L \right) \right] - \\
 & - \frac{\rho^2 \varphi C_2^2}{2} \left[\left(e^{-2\rho} + \frac{1}{\varphi} \right) \frac{\sin 2\varphi L}{2} - \frac{\rho}{\varphi} \left(\frac{\sin 3\varphi L}{3} + \sin \varphi L \right) \right] - \\
 & - \frac{\rho \varphi C_1^2}{2} \left[\sin \varphi L \left(e^{2\rho} + \frac{1}{\varphi} \right) + \rho \left(L + \frac{\sin 2\varphi L}{2} \right) \right] + \\
 & + \frac{\rho \varphi C_2^2}{2} \left[\left(e^{-2\rho} + \frac{1}{\varphi} \right) \sin \varphi L - \rho \left(L + \frac{\sin 2\varphi L}{\varphi} \right) \right] - \\
 & - A \rho^2 \varphi (C_1 + C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \frac{e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \left(\frac{2\pi k \mu}{h} \cos 2\varphi L + 2\varphi \sin 2\varphi L \right) - \frac{2\pi k \mu}{h}}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + 4\varphi^2} + \\
 & + \frac{A \rho^3 \varphi}{2} (C_1 + C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \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{2\pi k \mu}{h}}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + \varphi^2} - \\
 & - \frac{A \rho^3 \varphi}{2} (C_1 - 3C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \frac{e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \left(\frac{2\pi k \mu}{h} \cos 3\varphi L + 3\varphi \sin 3\varphi L \right) - \frac{2\pi k \mu}{h}}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + 9\varphi^2} - \\
 & - A \rho \varphi^2 (C_1 + C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \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{2\pi k \mu}{h}}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + \varphi^2} - \\
 & - \frac{A \rho^2 \varphi^2 h}{4\pi k \mu} (C_1 - C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \left(e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} - 1 \right) - \\
 & - \frac{A \rho^2 \varphi^2}{2} (C_1 - C_2) e^{-k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \frac{e^{k\mu \frac{L}{h} 2\pi} \left(\frac{2\pi k \mu}{h} \cos 2\varphi L + 2\varphi \sin 2\varphi L \right) - \frac{2\pi k \mu}{h}}{\frac{4\pi^2 k^2 \mu^2}{h^2} + 4\varphi^2} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \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) \\
 b_3 = & \frac{\rho^2\varphi^2(C_1^2 + C_2^2)}{4} \left[e^{2\rho} \left(1 - \frac{\sin 2\varphi L}{2\varphi} \right) + \frac{L}{\varphi} - \frac{\sin 2\varphi L}{2\varphi^2} - \frac{\sin 2\varphi L}{2\varphi} \right] - \\
 & - \frac{\rho^3\varphi(C_1^2 - C_2^2)}{4} \left(\frac{1}{3\varphi} \sin 3\varphi L - \frac{\sin 3\varphi L}{3} - \frac{\sin \varphi L}{\varphi} \right) - \\
 & - \frac{4A\rho\varphi\pi k\mu(C_1 + C_2)}{h} e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi} \frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(\frac{2\pi k\mu}{h} \sin \varphi L - \varphi \cos \varphi L \right) + \varphi}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + \varphi^2} - \\
 & - \frac{2A\rho^2\varphi\pi k\mu(C_1 - C_2)}{h} e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi} \frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(\frac{2\pi k\mu}{h} \sin 2\varphi L - 2\varphi \cos 2\varphi L \right) + 2\varphi}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + 4\varphi^2} - \\
 & - \frac{\rho^3\psi(C_1^2 - C_2^2)}{4} \left[\frac{\sin 3\psi L}{3} \left(\frac{1}{\psi} - 1 \right) - \frac{\sin \psi L}{\psi} \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{\rho^2\psi^2 C_1 C_2}{2} \left[\left(1 + \frac{e^{-2\rho}}{\psi} \right) \left(L - \frac{\sin 2\psi L}{2\psi} \right) + \frac{4\rho}{\psi^2} e^{-2\rho} \sin \psi L \right] - \\
 & - \frac{2A\rho^2\psi\pi k\mu(C_1 - C_2)}{h} e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi} \frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(\frac{2\pi k\mu}{h} \sin 2\psi L - 2\psi \cos 2\psi L \right) + 2\psi}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + 4\psi^2} - \\
 b_4 = & \frac{C_1^2}{2\psi} (L + 2\rho \sin \psi L + \psi e^{2\rho} L) + C_1 C_2 \left(L + \frac{2\rho}{\psi} e^{-\rho} \sin \psi L + \psi e^{-\rho} L \right) + \\
 & + \frac{C_2^2}{2\psi} (L + e^{-2\rho} - 2\rho \sin \psi L) + \frac{Ah}{\pi k\mu} e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} - 1 \right) \left[\frac{1}{\psi} (C_1 - C_2) + \frac{Ah}{4\pi k\mu} \right] + \\
 & + \frac{2A\rho(C_1 + C_2)}{\psi} e^{-k\mu\frac{L}{h}2\pi} \frac{e^{k\mu\frac{L}{h}2\pi} \left(\frac{2\pi k\mu}{h} \cos \psi L + \psi \sin \psi L \right) - \frac{2\pi k\mu}{h}}{4\pi^2 k^2 \mu^2 + \psi^2}.
 \end{aligned}$$

Висновки. Ми отримали рішення для критичного тиску канатного барабана з урахуванням жорсткості закріплення країв і нерівномірності навантаження. Дані теоретичних розрахунків дали добре спів

падання з експериментальними дослідженнями і показали, що напружений стан обичайки барабана значно менший, ніж це показують наближені методи розрахунків.

Список використаних джерел

1. Lamé G. Leçons sur la théorie...de l'élasticité, Gauthier-Villars, Paris, 1852.
2. Mises R. Der kritische Aussendruck zylindrische Rohre. Zeitschrift der VDI, 1914. Bd/58, № 196 s/750-755.
3. Mupende. I.; Otto. St. Institut smitteilung Nr. 27 .(2002) 19-25 p.
4. Henschel. J. IMW – Institut smitteilung Nr. 24 (1999)- 29-36 p.
5. Dietz. P.; Mupende. I.; Schwarzer. T. IMW - Institutsmitteilung Nr. 30, (2005) 27-32.
6. Бондарев, В.С. Підйомно-транспортні машини [Текст] / В.С. Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колісник [та ін.]. – К.: Вища шк., 2009. – 734 с.
7. Григоров, О.В. Вантажопідйомні машини [Текст] / О.В. Григоров, Н.О. Петренко. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 300 с.
8. Фидровская, Н.Н. Напряженное состояние оболочки канатных барабанов [Текст] / Н.Н. Фидровская: сб. трудов VIII междунар. науч.-техн. конф. «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов». – Хургада, Египет: 2009. – С. 35-36.
9. Фідровська, Н.М. Уточнений розрахунок канатного барабана на стійкість [Текст] / Н.М. Фідровська, О.В. Григоров // зб. наук. праць УПА. – Харків: Машинобудування. – №7-8. – С. 32-38.

Фідровська Наталя Миколаївна, д-р техн. наук, професор, кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем, Українська інженерно-педагогічна академія. Тел. 097969883. E-mail: mot@uipa.edu.ua.

Fidrovskaya Natalia, doctor of technical sciences, professor, department «Metalworking machinery and transport systems», Ukrainian engineering and pedagogical academy. Tel.: 097969883 E-mail: mot@uipa.edu.ua.