

УДК 621.863

ВПЛИВ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ НА НАТЯГНЕННЯ КАНАТУ, НАВИТОГО НА БАРАБАН©**Фідровська Н. М., Лесовицький К. Ю.***Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про авторів:**

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Лесовицький Костянтин Юрійович: ORCID: 0000-0002-3358-6664; skif085@mail.ru; аспірант кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті розглянуто напружений стан канату, навитого на барабан, з урахуванням коефіцієнтом тертя. При розрахунку канатного барабану приймають, що він навантажений в основному тільки стискуючим питомим навантаженням, яке створює канат. Сили тертя, як правило, не враховуються в цих розрахунках, що являється дуже грубим припущенням.

Ми провели аналіз впливу тертя на навантажений стан барабану, прийнявши при цьому відому залежність Ейлера, яка була отримана для кільця і невагомої ниті. Проведений експеримент підтвердив необхідність врахування сил тертя в уточнених розрахунках.

Розрахунок напруженого стану кільця, навантаженого канатом показав, що в цьому випадку кільце працює тільки на стиск.

Ключові слова: канат; тертя; сила тертя; напруження; барабан; кільце; Ейлер; уточнений розрахунок.

Фидровская Н. Н., Лесовицкий К. Ю. «Влияние коэффициента трения на натяжение каната, навитого на барабан».

В статье рассмотрено напряженное состояние каната, навитого на барабан, с учетом коэффициента трения. При расчете канатного барабана принимают, что он нагружен в основном только сжимающей нагрузкой, создаваемой канатом. Силы трения, как правило, не учитываются в этих расчетах, что является очень грубым допущением.

Мы провели анализ влияния трения на напряженное состояние барабана, приняв при этом известную зависимость Эйлера, которая была получена для кольца и гибкой нити. Проведенный эксперимент подтвердил необходимость учета сил трения в уточненных расчетах.

Расчет напряженного состояния кольца, нагруженного канатом, показал, что в этом случае он работает только на сжатие.

Ключевые слова: канат; трение; сила трения; напряжение; барабан; кольцо; Эйлер; уточненный расчет.

Fidrovska N., Liesovytskyi K. “Impact of coefficient of friction to the tension of rope weave on drum”.

The article considers strained condition of rope, weave on drum with calculation coefficient of friction. In the time of calculation the rope drum receive what it load in principal only compression load, which create the rope. Strength of friction as rule not calculation what is very rude assumption.

Піднімально-транспортні машини

We conduct analysis of influence friction on strained condition drum receive in the time of known dependence Euler, which was receipt for ring and supple thread. Conduct experiment confirm necessity calculation strength of friction in more accurate definition calculation.

Calculation strained condition of ring load rope show what in this chance the ring work only on compression.

Key words: rope; friction; strength of friction; strained; drum; ring; Euler; more accurate definition calculation.

1. Вступ

Розглядаючи канат, який зігнутий на барабані або шківі, припускають, що сили тертя між дротинами відсутні і вони можуть вільно рухатися в процесі згину каната.

Але наявність сили тертя між дротинами і барабаном або шківом доведена експериментами багатьох авторів. Під дією сил тертя в канаті виникають додаткові осьові розтягнення або стиснення дротинок.

Це підтверджують експерименти А. М. Ципріна і Б. С. Ковальського [1], які проводилися для визначення жорсткості каната при згині.

2. Аналіз публікацій

А. М. Ципрін отримав залежність зв'язку тертя між дротинками в канаті у вигляді співвідношення жорсткості згинання каната до сумарної жорсткості окремих дротинок.

Х. Ернст [2] досліджував процес згинання каната підвісних доріг. Він приймав, що поперечний переріз каната складається з дротинок, які пов'язані в одне ціле силами тертя і канат розглядається як суцільний стержень до тих пір, доки сили зсуву, які виникають при згинанні каната, не подолають сили тертя між дротинками.

Л. Г. Жуков розглядав роботу каната на розтягнення і прийшов до висновку, що сили тертя дуже значні.

При розрахунку канату в більшості випадків не враховуються сили тертя, які виникають між канатом і блоком або барабаном. При врахуванні тертя конструктори спираються на закон Ейлера, який був ним отриманий для нерозтягнутої нитки.

3. Основний матеріал

Відповідно до закону Ейлера для нерозтягнутої нитки вплив сили тертя на натягнення нитки визначають наступною залежністю

$$T = T_0 \cdot e^{-\mu\alpha}, \quad (1)$$

де f , φ – відповідно коефіцієнт тертя і кут контакту канату і блоку (барабану);

T_0 – максимальне натягнення канату.

Але канат – це складна пружна система, яка в значній мірі відрізняється від нерозтягнутої нитки. Так, проведені експерименти В. М. Беспалова і С. Л. Смолякова [3], в яких проводилося дослідження впливу на коефіцієнт тертя між канатом і шківом різних

факторів, показали, що на коефіцієнт тертя значний вплив має відношення r/d , де r – радіус канавки блока, d – діаметр каната.

Розглянемо рівновагу елемента канату на барабані (рис. 1, а) і отримаємо

$$(T + dT) \cos\left(\frac{d\varphi}{2}\right) = T \cos\left(\frac{d\varphi}{2}\right) + fN, \quad (2)$$

$$N = \left(\frac{T}{R}\right) R d\varphi = T d\varphi,$$

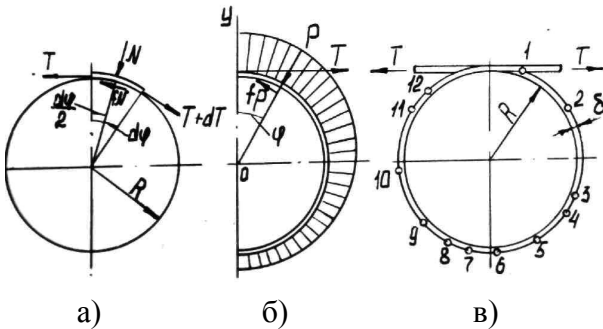


Рис. 1 – Розрахункова схема: а) схема сил на елементі кільця; б) схема експерименту; в) наклейка датчиків 1,2...12.

симетрично відносно осі y . На елементарній дільниці кільця $Rd\varphi$ діє нормальний тиск $pRd\varphi$ і дотичне зусилля $fpRd\varphi$, проєкція цих сил на ось y дорівнює нулю.

$$\int_0^{\pi} p(\cos\varphi - f \sin\varphi) d\varphi = 0. \quad (3)$$

Що справедливо для невагомго і незакріпленого кільця. При $f = \text{const}$ маємо рішення $p = p_0 e^{-f\varphi}$. Як бачимо формула Ейлера справедлива тільки для постійного коефіцієнту тертя. Але у багатьох експериментах відмічається залежність f від тиску p , від швидкості і інших факторів, в таких випадках формула Ейлера може застосовуватися як наближене рішення і в ньому під f розуміють деяке середнє значення. Якщо поставити f в залежності від тиску прийнявши

$$f = f_0(1 - \beta p).$$

то будемо мати

$$\left(\frac{1}{p} + \frac{\beta}{1 - \beta p}\right) dp + f_0 d\varphi = 0,$$

або

$$\ln \frac{p}{1 - \beta p} + f_0 \varphi = 0.$$

Після перетворення отримаємо

$$\frac{p}{1 - \beta p} = \frac{p_0}{1 - \beta p_0} e^{-f_0 \varphi}$$

Звідкіля отримаємо

$$dT + fT d\varphi = 0.$$

Якщо $f = \text{const}$, то

$$\frac{dT}{T} + f d\varphi = 0$$

і при $T(0) = T_0$ отримаємо відому залежність Ейлера.

Припустимо, що ми маємо достатньо жорстке кільце, яке навантажене витком канату, як показано на рис. 1, а –

Піднімально-транспортні машини

$$p = \frac{p_0}{\beta p_0 + (1 - \beta p_0) e^{f\varphi}} = \frac{1}{\beta + \left(\frac{1}{p_0} - \beta\right) e^{f\varphi}} \quad (4)$$

При $\beta = 0$ рівняння (4) переходить в рівняння (1).

Нами був проведений експеримент. Виток алюмінієвого дроту діаметром 2,8 мм навитий на кільце діаметром 270 мм. З зовнішньої сторони по колу дроту були поклеєні дротяні датчики 1,2...12. В експерименті приймалося натягнення дроту $T = 39,2 - 78,4 - 117,6 - 196,0 - 235,2 - 313,6 - 392,0 - 431,2$ Н.

Результати експериментів показали, що обидва цих законів навантаження дають добре співпадіння з експериментом, тому для спрощення розрахунків можна використовувати лінійну залежність.

Цікаво, що кільце під навантаженням, яке симетричне відносно осі y і відповідає закону Ейлера, працює тільки на тиск, як і у випадку рівномірного радіального навантаження. Дійсно, розглядаючи роботу кільця, навантаженого симетрично силами $p_0 \operatorname{Re}^{-f\varphi}$ і $f p_0 \operatorname{Re}^{-f\varphi}$ знаходимо зусилля в перерізах $\varphi = 0$ і $\varphi = \pi$.

У довільному перерізі кільця момент згину буде дорівнювати

$$M(\varphi) = TR(1 - \cos \varphi) - p_0 R^2 \left\{ \int_0^\varphi e^{-f\psi} \sin(\varphi - \psi) d\psi + f \int_0^\varphi e^{-f\psi} [1 - \cos(\varphi - \psi)] d\psi \right\} = 0 \quad (5)$$

Висновки

Як бачимо з наведених розрахунків кільце дійсно працює тільки на тиск. Це підтверджується і тим, що нулю дорівнює сума проєкцій всіх сил на нормаль до дуги кільця.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б. С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. – Харьков, 1969. – 164 с.
2. Ernst U. Die Tragfähigkeit von Seileinbanden und Seilyerbindungen mit Dappelbackenkenk lemmen / U. Ernst // *Gluckauf-Forschungsh.* – 1974. – Bd. 35, № 1. – S. 1-10.
3. Беспалов В. Н. Коэффициент трения геофизического кабеля о шкив / В. Н. Беспалов, С. Л. Смоляков // *Подъемно-транспортное оборудование : респ. межвед. научн. техн. сб.* – Киев, 1989. – Вып. 20. – С. 66-68.

References

1. Kovalskiy, B & Kozhin, S 1969, 'Barabany gruzopodyemnykh mashin', KhVKIU, Kharkiv.
2. Ernst, U 1974, 'Die Tragfähigkeit von Seileinbanden und Seilyerbindungen mit Dappelbackenkenk lemmen' *Gluckauf-Forschungsh*, Bd. 35, no 1, pp. 1–10.
3. Bespalov, V & Smolyakov, S 1989, 'Koeffitsient treniya geofizicheskogo kabelya o shkiv', *Podyemno-transportnoye oborudovaniye: Resp. mezhved. nauchn. tekhn. sb.*, iss. 20, pp. 66-68.

Стаття надійшла до редакції 7 грудня 2016 р.