

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ І ЖОРСТКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАТА І БАРАБАНА НА НАВАНТАЖЕННЯ ОБИЧАЙКИ

1. Постановка проблеми

При контакті каната і обичайки барабана між ними виникають сили тертя, які необхідно враховувати при розрахунку як каната, так і барабана.

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.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

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

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.

3. Викладення основного матеріалу

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

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

або

$$P = P_0 \cdot e^{-\mu\alpha}, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя;

α – кут навивання;

T_0 – натягнення кінця каната, який збігає з барабана.

Але канат – це складна пружна система, яка в значній мірі відрізняється від нерозтягнутої нитки. Для врахування пружних і геометричних властивостей каната введемо поправочний коефіцієнт K [3]

$$k = \frac{E_k \cdot d_k}{E_b \cdot \sqrt{R \cdot \delta}}, \quad (3)$$

де d_k – діаметр каната;

E_k, E_b – модулі пружності відповідно каната і барабана.

Формула (1) тоді буде мати вигляд

$$T = T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha} \quad (4)$$

Коефіцієнт тертя μ , як показують експерименти, проведені різними дослідниками, залежить від співвідношення діаметрів каната і барабана, типу каната, тиску P , швидкості навивання та інших факторів.

Нами були визначені зусилля в елементах каната при навиванні його на барабан, для цього було використано систему рівнянь Кирхгофа [4].

$$P_b = A \cdot e^{\frac{w_b}{\mu} \cdot S} \cdot \cos \cdot \sqrt{w_t^2 - \frac{w_b^2}{4 \cdot \mu^2} \cdot S} + B \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha}, \quad (5)$$

де A – коефіцієнт, який знаходиться з умови

$$\oint P_b ds = 0, \quad (6)$$

$$A = \frac{k \cdot \mu^2 \cdot B \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha}}{R \cdot w_b \cdot e^{\frac{w_b S}{\mu}}}, \quad (7)$$

де

$$B = \frac{w_t \cdot \left(w_b - \frac{k}{R}\right) \cdot \left(R^2 + \frac{k}{R} \cdot w_b + w_t^2\right)}{k^2 \cdot \mu^2}. \quad (8)$$

Тоді отримаємо

$$P_n = \frac{k\mu}{R \cdot w_t} \cdot \left(\mu \cdot \cos \sqrt{w_t^2 - \frac{w_b^2}{4 \cdot \mu^2} \cdot S} - 1 \right). \quad (9)$$

Нормальні навантаження визначимо за формулою

$$f_n = \frac{k}{R} \cdot T_0 \cdot e^{-k\mu\alpha} \cdot \left(1 - \frac{w_b \cdot \mu \cdot \left(w_b - \frac{k}{R}\right)}{\frac{k^2 \cdot \mu^2}{R^2} + \frac{k}{R} \cdot w_b + w_t^2} \right). \quad (10)$$

М.П. Артеменко [5] проводив експерименти, результати яких наведені на рис. 1 (криві 1 і 2). Б.А. Морозовим [6] також був проведений експеримент, в якому визначались радіальні деформації стінки барабанів діаметром $D = 400 - 800$ мм, товщиною стінки $\delta = 1,7 \dots 5,5$ мм при навиванні каната діаметром $d = 8$ мм під натягом $T = 1000 \div 5000$ Н. Б.А. Морозов запропонував залежність для визначення натягу в n -ому витку

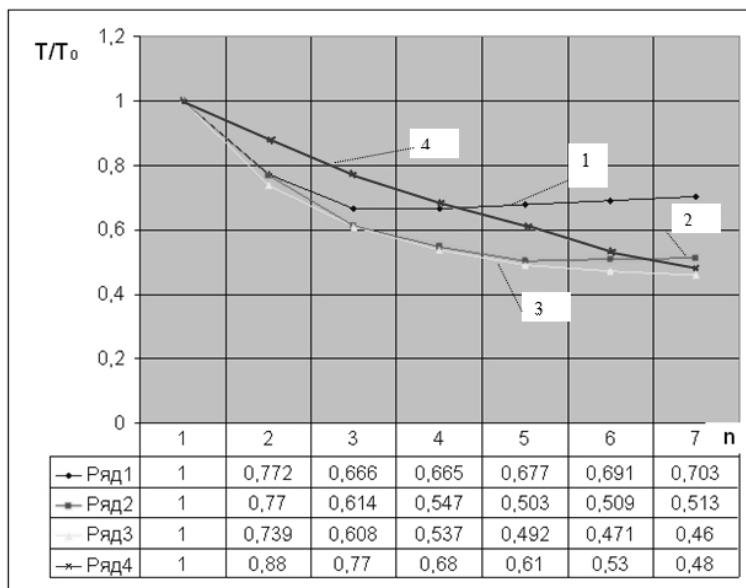
$$T_n = \frac{T_0}{1 + 0.64 \cdot \frac{E_k \cdot F_k}{E_b \cdot \sqrt{R \cdot \delta^3}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \eta(\beta x)}, \quad (11)$$

де [1]

$$\eta(\beta x) = e^{-\beta x} \cdot (\cos \beta x + \sin \beta x). \quad (12)$$

Ми провели розрахунок за формулою (11) для експериментальних даних М.П. Артеменка (рис. 1, крива 3). Крім цього, ми виконали розрахунок за формулою (10) (крива 4) при умові, що $k = 0,2$, $\mu = 0,1$.

Як бачимо, розрахункова залежність (4) більше співпадає з експериментальними даними, ніж формула (11).



Вплив коефіцієнта тертя на нормальне контактне навантаження показаний на рис. 2, діаметра каната — на рис. 3, кута навивання — на рис. 4, радіуса барабана — на рис. 5, пружності каната — на рис. 6.

Рис 1 – Графік зміни натягу у гвинтах каната:
1, 2 – експериментальні дані М.Л. Артеменко відповідно для каната та дроту; 3 – розрахунок за формулою (11);
4 – розрахунок за формулою (10)

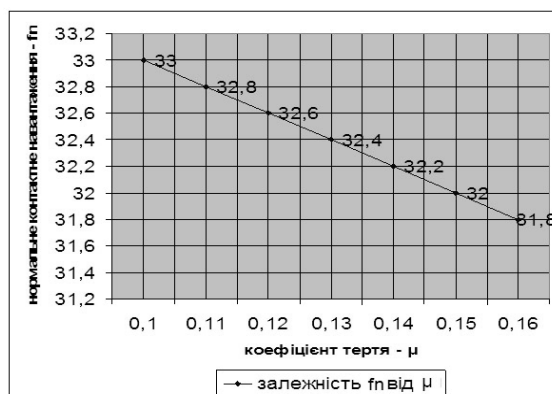


Рис. 2 – Вплив коефіцієнта тертя на нормальне контактне навантаження

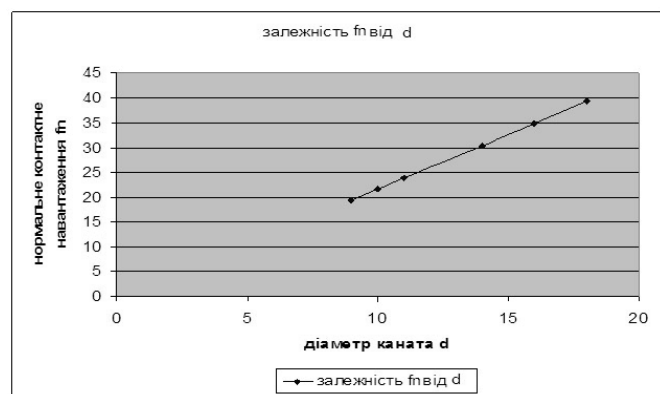


Рис. 3 – Вплив діаметра каната на нормальне контактне навантаження

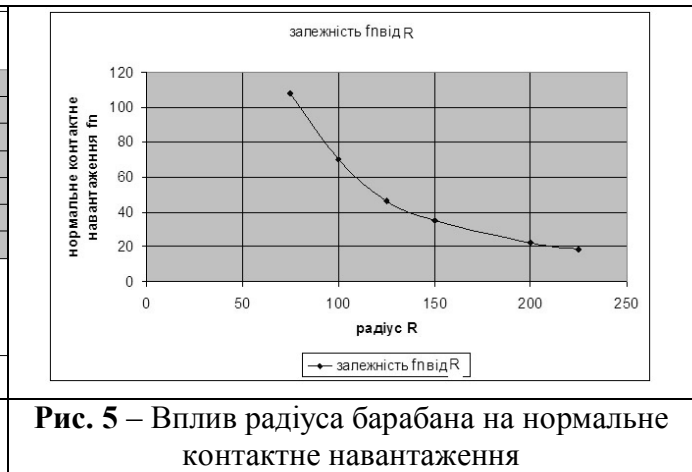
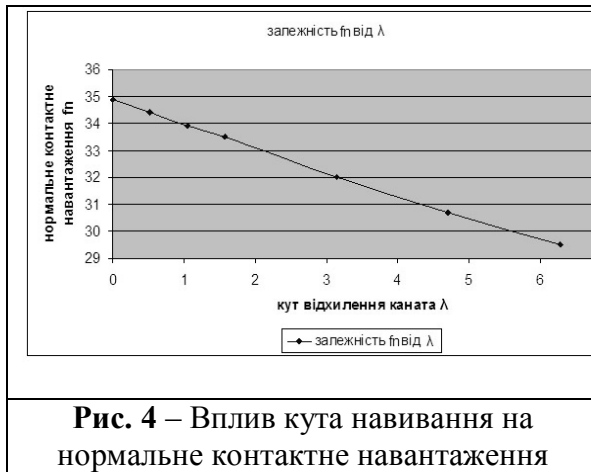


Рис. 4 – Вплив кута навівання на нормальне контактне навантаження

Рис. 5 – Вплив радіуса барабана на нормальне контактне навантаження

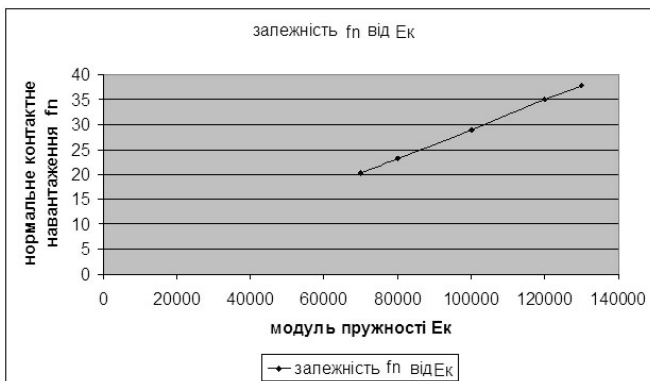


Рис. 6 – Вплив пружності каната на нормальне контактне навантаження

Зробимо порівняльний розрахунок. Візьмемо канат з кутами звивання $\varphi = 18^\circ$, діаметром $d = 8$ мм, модулем пружності $E_k = 12 \cdot 10^4$ МПа і барабан з модулем пружності $E_\delta = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, радіусом $R = 150$ мм, товщиною стінки $\delta = 15$ мм, коефіцієнтом тертя $\mu = 0,14$, якщо натягнення каната $T_0 = 30000$ Н.

Тоді отримаємо

$$k = \frac{12 \cdot 10^4 \cdot 6}{2,1 \cdot 10^5 \sqrt{150 \cdot 5}} = 0,1928.$$

Радіальне навантаження на барабан (на одиницю довжини по колу барабана) визначене по формулі (10) складає $f_n = 38$ Н/мм.

В навчальній літературі та в довідниках радіальне навантаження визначають по формулі

$$p = \frac{T}{R} = \frac{30000}{150} = 200 \text{ Н/мм}$$

Висновки

Як бачимо, навантаження барабану завищено більше ніж в 5 разів, що веде до завищення запасів міцності та збільшенню металоємкості барабана.

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б.С. Барабаны грузоподъемных машин / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. – Харьков.: ХВКИУ, 1969. – 164с.
2. Ernst U. Die Tragfähigkeit von Seileinbanden und Seilverbindungen mit Doppelbackenkenk lemmen / U. Ernst // Gluckauf-Forschungsh. – 1974. – Bd. 35, № 1. – S. 1–10.

3. Фидровская Н. Н. Распределение усилий в канате при навивке его на барабан // Научный вестник строительства : сб. науч. пр. / Харк. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. – – Х., 2005.- Вип.34. – С. 132–136.

4. Фидровская Н. Н. Напряженное состояние оболочки канатных барабанов // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-техн. конф., (5–12 дек. 2009 г., Хургада, Египет) / Хмельницкий нац. ун-т. – Хмельницкий, 2009. – С. 35–36.

5. Артеменко Н. П. Напряжение в стенке кранового барабана: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / Николай Петрович Артеменко ; Харьк. авиац. ин-т. – Харьков, 1947. – 92 с.

6. Морозов Б. А. К расчету на прочность тонкостенных барабанов грузоподъемных машин / Б. А. Морозов // Новая подъемно-транспортная техника / ЛОНИТОМАШ. – Л., 1949. – Кн.14. – С. 91–102.

Фідровська Н.М. «Вплив геометричних і жорсткісних параметрів каната і барабана на навантаження обичайки».

В статті розглядаються питання визначення натягнення каната, який навивається на барабан, з урахуванням коефіцієнта тертя, геометричних розмірів барабана і каната, а також їх пружних характеристик. Показано, що дійсні напруження набагато менші, ніж ті, що приймалися раніше.

Ключові слова: барабан, навантаження, обичайка, коефіцієнт тертя.

Фидровская Н.Н. «Влияние геометрических и жесткостных параметров каната и барабана на нагрузку обечайки».

В статье рассматриваются вопросы определения натяжения каната, навитого на барабан, с учетом коэффициента трения, геометрических размеров каната и барабана, а также их упругих характеристик. Показано, что действующие напряжения намного меньше, чем те, что принимались раньше.

Ключевые слова: барабан, нагрузка, обечайка, коэффициент трения.

Fidrovskaya N. “Influence of geometrical and hard parameters of rope and drum on the loading wall”.

In the article one considers questions of definition stretch of rope, which is twist on drum with calculation coefficient of frictions, geometrical dimensions of rope and drum elastic characters. It is shown, that strains is smaller than those which were set earlier.

Key words: drum, load, shell, coefficient of frictions.

Стаття надійшла до редакції 13 листопада 2013 р.