

Фидровская Н. Н.,  
Варченко И. С.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В КАНАТЕ, ИЗОГНУТОМ НА БАРАБАНЕ

В статье рассматриваются вопросы напряженного состояния каната, изогнутого на барабанах, в условиях многослойной навивки. Получены уравнения поперечных усилий. Приведены влияния слоев навивки каната, коэффициента трения, количества навиваемых витков на поперечную нагрузку. Для определения усилий в канате, который навивается на барабан, рассматривается система уравнений Кирхгофа с учетом сил трения.

**Ключевые слова:** канатный барабан, подъемный канат, многослойная навивка, обечайка, реборда, поперечные усилия.

### 1. Постановка проблемы

Многослойная навивка имеет место в различных видах грузоподъемных машин: на лебедках буровых и траловых установок, кранов, на барабанах шахтных проходческих и подъемных машин. Но, несмотря на это, многие вопросы, связанные с применением многослойной навивки канатов на барабаны, и до настоящего времени не получили достаточно полного разрешения, что значительно усложняет применение многослойной навивки.

Один из таких вопросов, которые требуют уточнения, является давление каната на лобовину барабана. Вопросами многослойной навивки занимались такие выдающиеся ученые как М. М. Федоров [1], Б. С. Ковальский [2], Ю. Е. Почтовенко [3] и другие [4–8].

### 2. Результаты исследований

Для определения усилий в канате, который навивается на барабан (рис. 1), рассмотрим систему уравнений Кирхгофа с учетом сил трения:

$$\begin{cases} \frac{dP_n}{dS} + \omega_t P_b - \omega_b P_t = -f_n; \\ \frac{dP_b}{dS} + \omega_n P_t - \omega_t P_n = -f_b; \\ \frac{dP_t}{dS} + \omega_b P_n - \omega_n P_b = -\mu f_n, \end{cases} \quad (1)$$

где  $P_b$  и  $P_n$  — поперечные силы;  $P_t$  — осевое усилие;  $f_n$  и  $f_b$  соответственно нормальная контактная и поперечная нагрузки;  $\mu$  — коэффициент трения;  $S$  — ось элемента каната;  $\omega_t$  — кручение;  $\omega_n$  и  $\omega_b$  — кривизны, определяются по формулам:

$$\begin{cases} \omega_t = -\frac{1}{2} v \sin 2\alpha \cos \varphi + \frac{1}{2} \frac{\sin 2\alpha}{r}; \\ \omega_n = -v \cos \alpha \sin \varphi - \frac{d\alpha}{dS}; \\ \omega_b = -v \cos \alpha \sin \varphi - \frac{d\alpha}{dS}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $r$  и  $\varphi$  — полярные координаты оси проволоки в поперечном сечении каната.

$$v = \frac{1}{\rho},$$

$\rho$  — радиус кривизны изогнутой по винтовой линии оси каната.

$$\rho = \frac{R}{\sin^2 \beta},$$

$R$  и  $\beta$  — соответственно радиус, и угол наклона винтовой оси каната;  $\alpha$  — угол свивки элементов спирального каната.

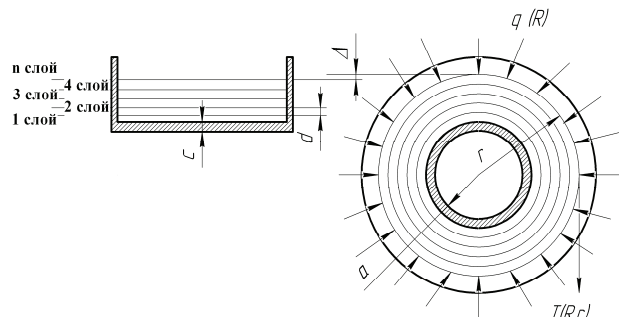


Рис. 1. Нагрузки, действующие на барабан при многослойной навивке

Нагрузки:

$$\begin{cases} f_n = -vr \cos \alpha \cos \varphi f_n^{(0)} + v \cos \alpha f_n^{(0)}, \\ f_b = v \sin \varphi f_b^{(0)}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{\sin \alpha}{r} - \tau \cos \alpha,$$

где  $\tau = \frac{\sin 2\beta}{2r_0}$ .

Вклинивание происходит по спирали в четных или не четных слоях (рис. 2.)

Полагая, что  $P_t = T_0 e^{-2\mu\beta}$  [5] и учитывая, что при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$   $f_n \rightarrow 0$ , мы можем решить систему уравнений (1).

Получаем зависимость для поперечных сил и поперечной нагрузки:

$$P_b = \frac{T_0 e^{-k\mu\beta} \left( \omega_b + \frac{k^2 \mu^2}{R^2 \omega_t} \right)}{\omega_t - k\mu \frac{\omega_n}{R\omega_b}}. \quad (4)$$

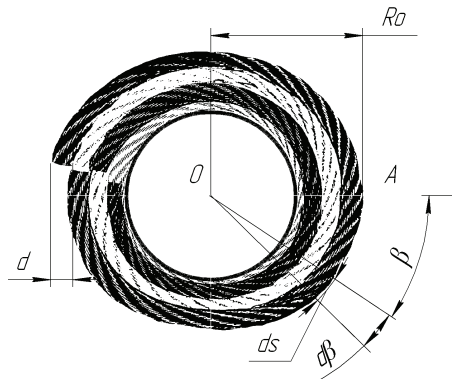


Рис. 2. Вклинивающиеся витки каната при переходе в верхний слой

$$P_b = \frac{T_0 e^{-k\mu\beta}}{w_b} \left[ \frac{k\mu}{R} + \frac{w_n \left( w_b + \frac{k^2 \mu^2}{R^2 w_b} \right)}{w_t - k\mu \frac{w_n}{R w_b}} \right] \quad (5)$$

$$f_b = T_0 e^{-k\mu\beta} \left\{ w_n - \frac{w_t}{w_b} \left[ \frac{k\mu}{R} + \frac{w_n \left( w_b + \frac{k^2 \mu^2}{R^2 w_b} \right)}{w_t - k\mu \frac{w_n}{R w_b}} \right] - \frac{k\mu \left( w_b + \frac{k^2 \mu^2}{R^2 w_b} \right)}{R \left( w_t - k\mu \frac{w_n}{R w_b} \right)} \right\} \quad (6)$$

Исходя из аналогичного уравнения определяющего силу распирающую реборду Тер-Каспоряна:

$$f_{\text{рас}} = 2\pi P \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \alpha \cdot d\alpha}{\text{ctg}(\alpha - \varphi) + \text{tg} \varphi} \quad (7)$$

Определяем усилие в каждом положении каната при заземлении (рис. 3).

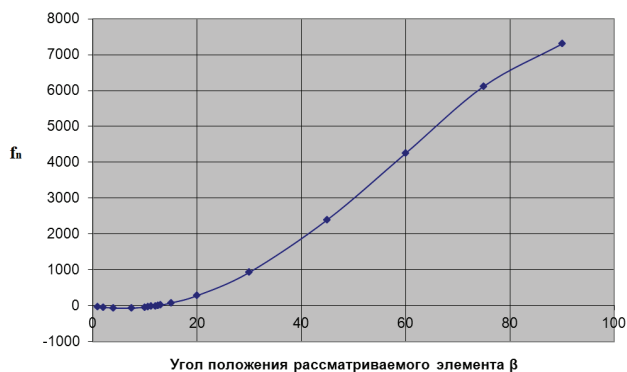


Рис. 3. Влияние угла  $\beta$  на вклинивающую силу

Проанализировав полученные формулы, получаем следующие закономерности:

- распределение усилий в реборде протекает по спирали от четных или не четных слоев каната;
- возрастание усилий исходя из слоев навивки в обечайке происходит по экспоненциальному закону.

### 3. Выводы

Полученные усилия поперечных усилий и поперечной нагрузки позволяет оценить нагрузки, которые создает

канат на реборде барабана при многослойной навивке. Выведен закон распределения усилий, на реборде исходя из слоев навивки.

### Литература

1. Ковальский, Б. С. Барабаны грузоподъемных машин [Текст] / Б. С. Ковальский, С. В. Кожин. — Харьков: ХВКИУ, 1969. — 164 с.
2. Ковальский, Б. С. Нагрузка барабана подъемной машины витками каната [Текст] / Б. С. Ковальский // Доклады АН СССР. — 1950. — № 6. — С. 779–782.
3. Почтовенко, Ю. Е. Некоторые вопросы теории многослойной навивки канатов на барабаны шахтных подъемных машин [Текст] / Ю. Е. Почтовенко // Горный журнал. — 1963. — № 8. — С. 20–23.
4. Фидровская, Н. Н. Распределение усилий в каната при навивке его на барабан [Текст] / Н. Н. Фидровская // Науковий вісник будівництва ХДТУБА, 2006. — № 35. — С. 262–266.
5. Ковальский, Б. С. Устойчивость обечайки барабана грузоподъемной машины [Текст] / Б. С. Ковальский, Н. Н. Фидровская // Деп. Укр НИИНТИ. — 1985. — № 2284. — С. 11.
6. Григоров, О. В. Вантажопідйомні машини [Текст] / О. В. Григоров, Н. О. Петренко. — Харків : НТУ «ХП», 2006. — 300 с.
7. Фидровская, Н. Н. Динамічні зусилля в канаті при багатошаровій навивці [Текст] / Н. Н. Фидровская, І. С. Варченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2010. — Т. 2, № 5(44). — С. 58–61.
8. Тер-Каспорян, А. А. Усилия распирающие реборду барабана при многослойной навивке каната [Текст] / А. А. Тер-Каспорян // Азербайджанское нефтяное хозяйство. — 1955. — XI. — С. 19–21.

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В КАНАТІ, ЗІГНУТОМУ НА БАРАБАНАНІ

У статті розглядаються питання напруженого стану каната, зігнутого на барабані, в умовах багатошарової навивки. Отримано рівняння поперечних зусиль. Наведено вплив шарів навивки каната, коефіцієнта тертя, кількість навитих витків на поперечне навантаження. Для визначення зусиль в канаті, який намотується на барабан, розглядається система рівнянь Кірхгофа з урахуванням сил тертя.

**Ключові слова:** канатний барабан, підйомний канат, багатошарова навивка, обечайка, реборда, поперечні зусилля.

**Фидровская Наталья Николаевна**, доктор технических наук, доцент, кафедра «Металлорежущего оборудования и транспортных систем», Украинская инженерно-педагогическая академия, e-mail: kafedra@petsm.uipa.kharkov.ua.

**Варченко Иван Сергеевич**, ассистент, кафедра «Металлорежущего оборудования и транспортных систем», Украинская инженерно-педагогическая академия, e-mail: kafedra@petsm.uipa.kharkov.ua.

**Фидровська Наталія Миколаївна**, доктор технічних наук, доцент, кафедра «Металоріжущого обладнання і транспортних систем», Українська інженерно-педагогічна академія.

**Варченко Іван Сергійович**, асистент, кафедра «Металоріжущого обладнання і транспортних систем», Українська інженерно-педагогічна академія.

**Fidrovskaya Natalia**, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, e-mail: kafedra@petsm.uipa.kharkov.ua.

**Varchenko Ivan**, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, e-mail: kafedra@petsm.uipa.kharkov.ua