

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБА КАНАТА НА БЛОКАХ

И.Ф. Никитин, доцент, к.т.н., О.В. Щербак, доцент, к.т.н.,
ХНАДУ

Аннотация. Предлагается методика исследования изгиба канатов на блоках, которая может быть использована при конструировании канатов.

Ключевые слова: канат, блок, угол свивки, напряжения, пряди каната.

Введение

Известно, что канат теряет до 50% своей прочности при движении по блокам по сравнению с канатом разрываемым на неподвижных блоках. Доказано, что изгибные напряжения в проволоках каната не превышают напряжений в прямой проволоке изогнутой потому же радиусу. В то же время проволоки, свитые в спиральный канат, обладают значительно меньшей усталостной прочностью по сравнению с отдельной проволокой. Этот факт установлен Бенейтом для канатов из отожженных проволок, изгибаемых на шкивах, футерованных кожей, где свивочные и контактные напряжения представляют незначительную величину. Поэтому свивочные и контактные напряжения в данном случае нельзя считать основной причиной усталостного разрушения канатов. В связи с этим обращает на себя внимание смежный участок каната в месте его перехода из прямого в изогнутый.

Дело в том, что геометрия прямого и изогнутого каната значительно отличаются, изменение этой геометрии или процесса нормирования изогнутого каната, происходящего на смежном участке, сопровождается возникновением дополнительных напряжений.

Методика исследования

Величина максимальных дополнительных усилий в проволоках каната определяется следующим выражением [3]

$$T_{\partial, \max} = T_0 (e^{f \sin \alpha \varphi_0} - 1), \quad (1)$$

где T_0 – усилие в проволоке от концевой нагрузки; f – коэффициент трения между проволоками; α – угол свивки проволок; φ_0 – угол затухания некомпенсированных смещений, получаемых проволокой при формировании каната из прямого в изогнутый.

Угол затухания определяется из выражений для некомпенсированного смещения проволоки [3].

$$U = \frac{r^2 \cos^2 \alpha}{\sin \alpha} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{R} T_0 \sin \varphi d\varphi + T_0 \int_0^{\varphi_0} \frac{d^2 y}{dy^2} \sin \varphi d\varphi, \quad (2)$$

где r – радиус концентрического ряда проволок; R – радиус огибаемого блока.

Прогибы каната в плоскости Y и Z определяются из выражений

$$\frac{d^2 y}{d\varphi^2} - a^2 y = (A e^{-f \sin \alpha \varphi} - B e^{f \sin \alpha \varphi}) \sin \varphi, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 z}{d\varphi^2} - a^2 z = (A e^{-f \sin \alpha \varphi} - B e^{f \sin \alpha \varphi}) \cos \varphi. \quad (4)$$

С другой стороны, смещения проволоки можно выразить через усилия [4].

$$U = \frac{r}{EF \sin \alpha} \int_0^{\varphi_0} T(s) - T(s + \frac{h}{2}) ds, \quad (5)$$

где $T(s)$ – усилие в проволоке при набегании полувитка на выпуклую часть каната; $T(s + \frac{h}{2})$ – усилие в проволоке при набегании полувитка на вогнутую часть каната; h – шаг свивки проволок; E – модуль упругости материала проволоки; F – площадь поперечного сечения проволоки.

Решая выражения (2) и (5) и выражая элемент длины проволоки через полярный угол φ , можно получить φ_0 . Анализ выражений (1) показывает, что величина дополнительных усилий переменна в зависимости от углов свивки проволок в пряди углов свивки прядей в канат β , и запаса прочности n . Причем, максимальная величина дополнительного усилия находится на выпуклой части каната.

Для анализа зависимостей дополнительных усилий от углов свивки прядей был принят канат для мостового крана с $D/d = 30$ и запасах прочности $n = 13,5; 10; 8,5; 7$.

На основании расчетных данных построен график зависимости дополнительных усилий от углов свивки прядей в канате и запаса прочности при $D/d = 30$ (рис. 1).

Из графика видно, что с увеличением угла свивки прядей в канат, дополнительные усилия уменьшаются до определенного предела, а затем возрастают. Этот предел характеризуется явным минимумом в зависимости от запаса прочности каната.

В связи с этим возникает интерес рассмотрения напряженного состояния каната со стороны выпуклости с учетом максимальных дополнительных усилий, где регулирующее напряжение может быть представлено в виде

$$\delta = \delta_{ст} + \delta_U + \delta_{доп}, \quad (6)$$

где $\delta_{ст}$ – растягивающее напряжение от концевой нагрузки или статическое; δ_U – изгибные напряжения; $\delta_{доп}$ – дополнительные напряжения.

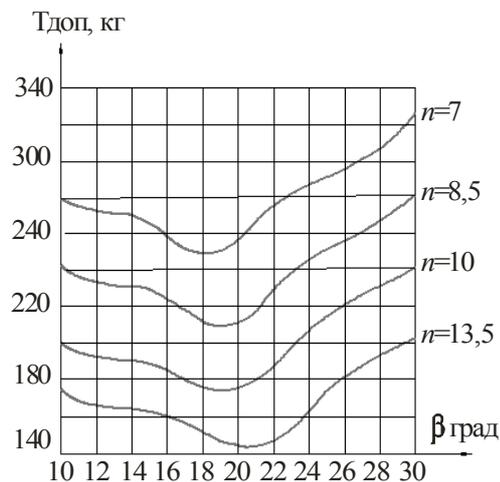


Рис. 1. Зависимость дополнительных усилий от углов свивки прядей в канате и запаса прочности при $D/d = 30$

Создание экранных форм

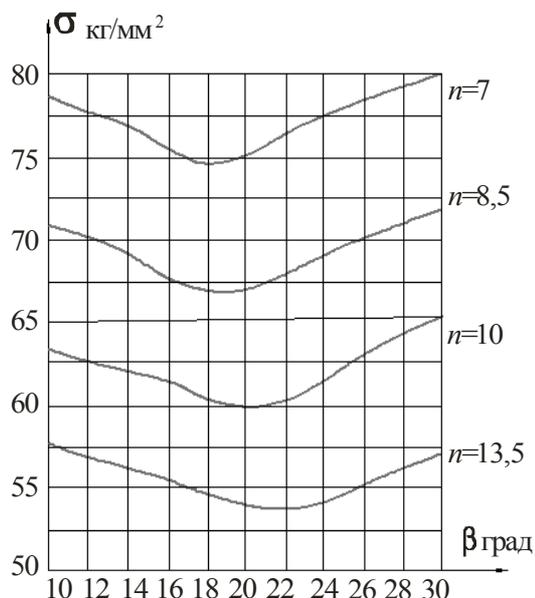


Рис. 2. Зависимость результирующего напряжения в проволоке от углов свивки прядей в канате и запаса прочности при $D/d = 30$

Если канат нагружен концевой нагрузкой Q , тогда напряжения возникающие в проволоке при чистом растяжении можно записать согласно А.Н. Динника [2]

$$\delta_{ст} = \frac{Q \cos^2 \alpha_i}{z \cos \beta \sum F \cos^3 \alpha}; \quad (7)$$

$$\sum F \cos^3 \alpha = F_0 + F_1 n_1 \cos^3 \alpha_1 + F_2 n_2 \cos^3 \alpha_2 + \dots + F_i n_i \cos^3 \alpha_i,$$

где α, n, F – углы свивки, количество проволок и площади их поперечного сечения соответственно первого, второго, n -го слоев; F_0 – площадь поперечного сечения центральной проволоки.

Из выражения (7) видно, что напряжение в проволоках возрастает с увеличением концевой нагрузки, углов свивки проволок в прядь и прядей в канат β .

Рассмотрим теперь вторую составляющую результирующего напряжения в крайнем волокне проволоки изогнутого каната.

Для этого воспользуемся общеизвестной формулой

$$\delta_u = \lambda \frac{d}{D} E, \quad (8)$$

где d – диаметр проволоки; D – диаметр огибаемого блока; E – модуль упругости материала проволоки.

В общей постановке изгиба каната коэффициент λ был получен М.Ф. Глушко [1]. Если не учитывать переменный угол свивки и деформацию кручения пряди, то коэффициент λ в наружных проволоках принимает значение

$$\lambda = \cos^2 \alpha \cos^2 \beta.$$

Таким образом, для оценки влияния параметров свивки каната, при изгибе напряжения в упрощенном виде можно записать

$$\delta_u = E \frac{d}{D} \cos^2 \alpha \cos^2 \beta. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что изгибные напряжения в проволоках, расположенных на выпуклой части изогнутого каната, увеличиваются с увеличением соотношения диаметра проволоки к диаметру огибаемого блока и, в противоположность напряжениям растяжения, уменьшаются с увеличением углов свивки проволок в прядь и прядей в канат.

Анализ результирующих напряжений по формуле (6) был сведен в график зависимости результирующего напряжения в проволо-

ках от углов свивки прядей в канате и запаса прочности при $D/d = 30$ (рис. 2).

Из рассмотрения графика можно констатировать, что при работе канатов на блоках, в каждом конкретном случае существует диапазон минимальных значений напряжения, определяемых параметрами свивки каната. Причем, диапазон минимума результирующего напряжения при запасе прочности равном 7 имеет место при углах свивки больших, чем в изготавливаемых в настоящее время серийных канатах. С увеличением же концевой нагрузки или увеличением запаса прочности минимум результирующего напряжения смещается в сторону увеличения углов свивки каната.

Выводы

Таким образом, из приведенного анализа можно констатировать, что выпускаемые в настоящее время канаты с одними и теми же параметрами свивки применяются в самых различных условиях. В то время, как для увеличения сроков службы канатов необходим дифференцированный подход к конструированию канатов и выбору параметров свивки в зависимости от условия их эксплуатации.

Литература

1. Глушко М.Ф. Напряжения в проволоках каната двойной свивки при изгибе. Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1959. – № 16.
2. Динник А.Н. Статьи по горному делу. Углетехиздат, 1957.
3. Нікітін І.Ф. Визначення додаткових зусиль у дроті з урахуванням просторового вигину каната / Зб. Підйомно-транспортне устаткування. – К.: Техніка. – 1971. – №2.
4. Никитин И.Ф. О схеме решения переходных процессов при формировании изогнутого каната в области набегания каната на шкив / Горная электротехника и автоматика. – Харьков: Изд-во ХГУ. – 1968. – Вып. 10.

Рецензент: В.В. Ничке, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 27 июня 2007 г.