

При снижении надежности ПЛХ-ЗАС с  $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = 0,1$  до  $\rho_1 = 0,15$  значения  $m$  фактически не изменялись. Для запаса достаточно высокой реальной надежности  $\rho_{18} = \frac{\lambda_{18}}{\mu_{18}} = 0,01$  его отказы существенным образом не сказываются на производительности систем. В процессе моделирования производительность ПСЛ-2 принималась на 20% выше производительности ПЛХ-ЗАС.

Размер емкости для максимального использования обеих установок желательно принимать с вероятностью  $P=1,0$ , но не ниже чем 0,9. В этом случае устраняется влияние подавляющего количества простоев из-за смежных систем.

Рассмотренная модель позволяет исследовать работающие системы с целью повышения производительности, а также поиска оптимальных вариантов построения технологических потоков леспромхозов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ковалев Н.Ф., Турлай И.В. Вопросы анализа систем массового обслуживания лесозаготовок с учетом надежности механизмов. "Изв.вузов", №2, 1975.
2. Редькин А.К. Распределение продолжительности циклов подъемно-транспортных и лесобрабатывающих машин. Рефер. информ. сб. "Лесоэксплуатация", вып. 7, 1973.

М.А. Цвирко, В.Д. Мартынихин

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ УПРУГОСТИ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ НА БЛОКАХ С ГЛАДКОЙ И РИФЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЖЕЛОБА

Теории расчета напряжений в канатах содержат ряд допущений, включая и то, что в поперечном сечении канат, работающий на блоках, не деформируется [1,9,13]. В действительности канат характеризуется не только продольной, но и поперечной уп-

ругостью [2,6,8 и 10], учет которой представляется важным для расчета контактных напряжений и напряжений вторичного изгиба, т.е. основных причин разрушения канатов. Проведение таких исследований имеет значение для блоков как типовых, так и новых конструкций, в частности, для блоков с рифленой поверхностью желоба [11].

Впервые модуль поперечной упругости каната применительно к расчетам многослойной укладки каната на барабан был введен Б.С. Ковальским [6]. В дальнейшем значения его были определены экспериментально рядом авторов при обжатии каната плоскими плашками [8,10].

К сожалению, разработанная теория, принятая методика эксперимента, а также полученные данные не могут быть полностью перенесены на растянутый прямой или изогнутый на блоке канат. В связи с новой постановкой задачи требуется проведение дальнейших исследований по определению поперечной упругости канатов.

Рассмотрим вначале факторы, влияющие на модуль поперечной упругости каната, поскольку от него в свою очередь зависит модуль поперечной упругости при взаимодействии каната с желобом блока. Для прямого растянутого каната удельное поперечное давление создается радиальной контактной нагрузкой между слоями проволок в пряди, а также давлением прядей на сердечник. Деформация поперечного сечения будет равномерной и одинаковой по всему периметру. Модуль поперечной упругости каната в общем виде выражается отношением

$$K = \frac{dP_n}{d\epsilon_d} \quad (1)$$

где  $dP_n$  — приращение поперечной нагрузки;  $d\epsilon_d$  — приращение относительной деформации по диаметру.

Теоретическое определение модуля поперечной упругости каната может базироваться на основе обобщенных уравнений статики и выражения для нормального (контактного) давления пряди на сердечник каната, выведенных М.Ф. Глушко [3]

$$\left. \begin{aligned} A\epsilon + C\theta &= T \\ C\epsilon + B\theta &= M \end{aligned} \right\} ; \quad (2)$$

$$\epsilon_n = -\mu\epsilon - \mu \frac{l'}{d'} \theta ; \quad (3)$$

$$P_n = (d' \varepsilon + l' \theta + g \varepsilon_r) \frac{\cos \beta}{r_0}, \quad (4)$$

где  $A, B, C$  — обобщенные коэффициенты жесткости каната;  $d'_1, l'_1, g$  — коэффициенты жесткости пряди;  $\varepsilon, \theta$  — соответственно продольные и крутильные относительные деформации каната;  $\varepsilon_r$  — относительная поперечная деформация каната по радиусу свивки прядей;  $r_0$  — радиус свивки прядей каната;  $\mu$  — коэффициент сужения каната по радиусу свивки прядей ( $r_0$ );  $T, M$  — внешняя нагрузка каната (осевое усилие и крутящий момент);  $P_n$  — нормальное распределенное давление пряди на сердечник, направленное к центру каната.

Выражения для определения коэффициентов жесткости каната и пряди ( $A, B, C, d'_1, l'_1, g$ ) приведены в работе [3]. Решение системы (2) относительно деформаций дает следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \Delta_{11} T - \Delta_{12} M \\ \theta &= -\Delta_{21} T + \Delta_{22} M \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{21}, \Delta_{22}$  — обобщенные коэффициенты упругой податливости каната, равные

$$\Delta_{11} = \frac{B}{\Delta}, \quad \Delta_{12} = \Delta_{21} = \frac{C}{\Delta}, \quad \Delta_{22} = \frac{A}{\Delta}, \quad \Delta = AB - C^2. \quad (6)$$

Подставляя значения деформаций из формул (5) в формулы (3) и (4), а также из формулы (3) в формулу (4) и производя элементарные преобразования, получим следующие зависимости для деформаций и усилий в поперечном сечении каната, выраженные через внешнюю нагрузку:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \mu \left( \Delta_{11} - \Delta_{21} \frac{l'}{d'} \right) T - \mu \left( \Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{l'}{d'} \right) M; \quad (7) \\ P_n &= \left\{ \left[ \Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] T - \right. \\ &\quad \left. - \left[ \Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] M \right\} \frac{\cos \beta}{r_0}. \quad (8) \end{aligned}$$

В формулах (7,8) деформация и нормальное давление приняты положительными, если они направлены к центру каната. Очевидно, что полное давление, определяющее деформацию по радиусу прядей, будет равно

$$P_k = 2P_n \quad (9)$$

Для нахождения модуля поперечной упругости каната, как видно из формулы (1), необходимо вычислить малые приращения поперечной нагрузки и деформации, которые будут равны полным дифференциалам функции (7) и (8) и запишутся в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_r &= \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial T} dT + \frac{\partial \varepsilon_r}{\partial M} dM \\ dP_n &= \frac{\partial P_n}{\partial T} dT + \frac{\partial P_n}{\partial M} dM \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

После преобразований получим следующие выражения для полных дифференциалов:

$$\left. \begin{aligned} d\varepsilon_r &= \mu \left( \Delta_{11} - \Delta_{21} \frac{l'}{d'} \right) dT - \mu \left( \Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{l'}{d'} \right) dM; \\ dP_n &= \left[ \Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] \frac{\cos \beta}{r_0} dT - \\ &\quad - \left[ \Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] \frac{\cos \beta}{r_0} dM \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Таким образом, с учетом формул (1) и (9) формула для модуля поперечной упругости каната по радиусу свивки прядей примет вид

$$K_0 = \frac{2dP_n}{d\varepsilon_r} = \frac{\left[ \Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] dT - \left[ \Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] dM}{\left( \Delta_{11} - \Delta_{21} \frac{l'}{d'} \right) dT - \left( \Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{l'}{d'} \right) dM} \cdot \frac{2 \cos \beta}{\mu r_0} \quad (12)$$

Для перехода к значению модуля поперечной упругости по наружному диаметру каната надо принять для однослойного шестипрядного каната

$$\epsilon_r = 1,5 \epsilon_d, \quad (13)$$

где  $\epsilon_d$  — относительная поперечная деформация каната по наружному диаметру.

Тогда

$$K = 1,5 K_0, \quad (14)$$

где  $K$  — модуль поперечной упругости каната, отнесенный к наружному диаметру.

В знаменателе формулы (12) коэффициент сужения каната может быть заменен конструктивным коэффициентом каната [3]

$$\mu = 1,5 \mu_d.$$

Для практических вычислений модуля поперечной упругости рассмотрим ряд частных наиболее распространенных случаев нагружения каната.

1. Чистое растяжение. Канат растягивается силой  $T$ , концы его закреплены от вращения ( $\theta = 0$ ). Из формулы (2) имеем

$$M = -\frac{C}{A} T \quad \text{или} \quad dM = -\frac{C}{A} dT. \quad (15)$$

Подставив значение  $dM$  из формулы (15) в формулу (12) и произведя сокращения  $dT$ , получим следующее выражение для модуля поперечной упругости каната:

$$K_0 = \frac{[\Delta_{11}(d' - \mu g) - \Delta_{21}(1' - \mu \frac{1'}{d'} g)] - \frac{C}{A} [\Delta_{12}(d' - \mu g) - (\Delta_{11} - \Delta_{21} \frac{1'}{d'}) - \Delta_{22}(1' - \mu \frac{1'}{d'} g)]}{-\frac{C}{A} (\Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{1'}{d'})} \cdot \frac{2 \cos \beta}{\mu r_0}. \quad (16)$$

2. Свободное растяжение. Канат растягивается силой  $T$ , второй конец каната свободно раскручивается ( $M=0$ ).

$$K_0 = \frac{\Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} (l' - \mu \frac{l'}{d'} g)}{\Delta_{11} - \Delta_{21} \frac{l'}{d'}} \times \frac{2 \cos \beta}{\mu r_0} \quad (17)$$

3. Свободное кручение. На канат действует только крутящий момент, и его концы свободны; осевое усилие, действующее на канат, равно нулю ( $T=0$ )

$$K_0 = \frac{\Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} (l' - \mu \frac{l'}{d'} g)}{\Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{l'}{d'}} \cdot \frac{2 \cos \beta}{\mu r_0} \quad (18)$$

4. Чистое кручение. Канат закручивается, а концы его закреплены от осевых перемещений ( $\epsilon = 0$ ).

Из системы (2) имеем

$$dT = \frac{C}{B} dM \quad (19)$$

Подставив выражение (19) в формулу (12) и произведя сокращения, получим

$$K_0 = \frac{\frac{C}{B} [\Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} (l' - \mu \frac{l'}{d'} g)] - [\Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} (l' - \mu \frac{l'}{d'} g)]}{\frac{C}{B} (\Delta_{11} - \Delta_{12} \frac{l'}{d'}) - (\Delta_{12} - \Delta_{22} \frac{l'}{d'})} \times \frac{2 \cos \beta}{\mu r_0} \quad (20)$$

Анализ выражений (16, 17, 18, 20) показывает, что модуль поперечной упругости каната определяется обобщенными коэффициентами упругой податливости и жесткости каната и в большой степени зависит от коэффициента сужения каната -- конструктивного коэффициента (рис. 1).

Во всех случаях для вычисления модуля по наружному диаметру каната необходимо руководствоваться условием (14).

Следует сделать несколько замечаний о размерности модуля поперечной упругости каната. Общепринятая размерность моду-

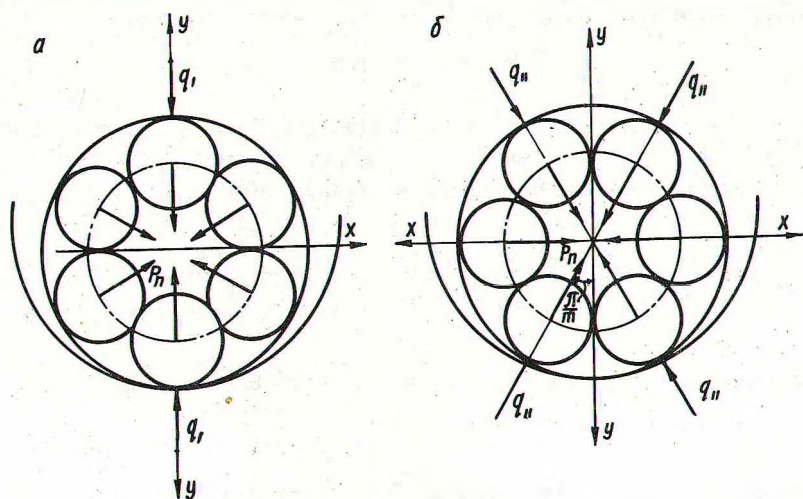


Рис. 1. Зависимость  $E_k K_u \eta$  от коэффициента сужения каната (канат ГОСТ 2688-69,  $\phi = 15$  мм).

ля  $\text{кн/мм}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ ) основана на несколько условном допущении, что относительная деформация имеет линейную размерность. Это обусловлено тем, что она определяется по длине каната, равной единице измерения, т.е.

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot l \quad (\text{при } l = 1), \quad (21)$$

где  $\Delta d$  — деформация по диаметру каната.

Линейность размерности относительной поперечной деформации необходимо учитывать при переходе с одной размерности на другую. В этом случае относительная деформация принимается безразмерной величиной, так как по длине каната она постоянная и не суммируется.

По формулам (16, 17, 18 и 20) определяются начальные значения модуля, и они не отражают напряженного состояния каната. В то же время экспериментальные исследования показывают, что модули как поперечной, так и продольной упругости каната с ростом напряжения в канате возрастают. Связь между мо-

дулем продольной упругости и напряжением в канате исследована Б.С. Ковальским и А.И. Жиряковым [7].

Там же показано, что связь между модулем продольной упругости каната и напряжением в первом приближении можно аппроксимировать следующей линейной зависимостью:

$$E_k = E_0 + c\sigma, \quad (22)$$

где  $E_0$  — начальное значение модуля;  $\sigma$  — средние напряжения в канате;  $c$  — опытный коэффициент, определяемый на основе экспериментальных данных по формуле

$$c = \frac{1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \ln \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{\sigma_2 - \sigma_1} \quad (22a)$$

при условии нагружения  $\epsilon_3 - \epsilon_1 = 2(\epsilon_2 - \epsilon_1)$ , где  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — соответственно относительные удлинения и соответствующие им напряжения в канате.

В этом плане представляется важным установить связь между модулями поперечной и продольной упругостями каната как двумя взаимодополняющими друг друга характеристиками упругих свойств каната по его ортогональным осям. Для этого знаменатель в формуле (1) преобразуем следующим образом:

$$d\epsilon_r = \mu d\epsilon = \mu \frac{dT}{F_k \cdot E_k}, \quad (23)$$

где  $F_k$  — площадь сечения проволок каната.

Для чистого растяжения ( $\theta = 0$ ) после подстановки (23) в (1) получим

$$K_0 = \frac{dl_n}{dT} \cdot \frac{F_k}{\mu} \cdot E_k \quad (24)$$

или после обозначения

$$\eta = \frac{dP_n}{dT} \cdot \frac{F_k}{\mu}; \quad K_0 = \eta \cdot E_k \quad (25)$$

Коэффициент  $\eta$  назовем коэффициентом приведения упругих свойств каната по его ортогональным осям.



Подставляя значения поперечной нагрузки из формул (9) и (11) в формулу (25), определим значение коэффициента приведения для чистого растяжения каната.

$$\eta = \left\{ \left[ \Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] - \frac{C}{A} \times \right. \\ \left. \times \left[ \Delta_{12} (d' - \mu g) - \Delta_{22} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] \right\} \frac{2 F_k \cos \beta}{\mu r_0} \quad (26)$$

График зависимости коэффициента приведения от коэффициента сужения показан на рис. 1.

Для случая свободного растяжения, когда  $M=0$ , коэффициент приведения определим следующим образом: из системы уравнений (2) определяем

$$\theta = - \frac{C}{B} \varepsilon \quad (27)$$

По формуле (3) находим малые приращения деформации

$$d\varepsilon_r = \mu d\varepsilon \left( \frac{l'}{d'} \cdot \frac{C}{B} - 1 \right) \quad (28)$$

Так как

$$d\varepsilon = \frac{dT}{\frac{F \cdot E}{k \cdot k}}, \text{ то } d\varepsilon_r = \mu \left( \frac{l'}{d'} \cdot \frac{C}{B} - 1 \right) \times \\ \times \frac{dT}{\frac{F \cdot E}{k \cdot k}} \quad (29)$$

С учетом формулы (25) имеем

$$\eta = \frac{dP_n \frac{F}{k}}{\mu \left( \frac{l'}{d'} \cdot \frac{C}{B} - 1 \right) dT} \quad (30)$$

Или окончательно после подстановки значения  $dP_n$

$$\eta = \frac{\left[ \Delta_{11} (d' - \mu g) - \Delta_{21} \left( l' - \mu \frac{l'}{d'} g \right) \right] \frac{2 F_k \cdot \cos \beta}{\mu r_0}}{\frac{l'}{d'} \cdot \frac{C}{B} - 1} \quad (31)$$

С учетом зависимости (22) формулу для модуля поперечной упругости можно также записать в виде

$$K_0 = \eta E_K = \eta (E_0 + c \sigma). \quad (32)$$

На канат, изогнутый на блоке (рис. 2), кроме вышеуказанного радиального давления, имеющего место в прямом канате, действует также дополнительная поперечная нагрузка от радиального давления со стороны желоба (реакция упругого основания), а также со стороны наружных прядей (по оси  $y-y$ ) от дополнительных растягивающих усилий, возникающих при изгибе каната.

Эти поперечные нагрузки уравниваются и приводят к дополнительному сжатию каната по оси  $y-y$ .

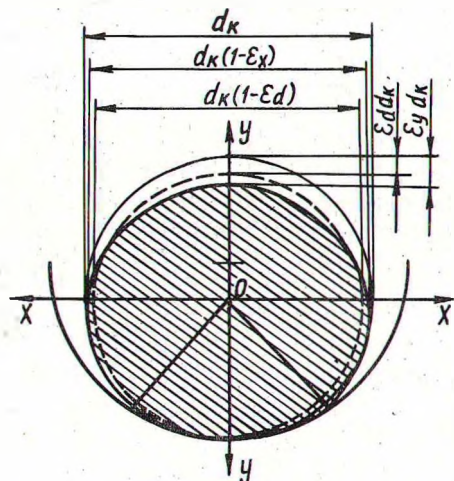


Рис. 2. Схема усилий в поперечном сечении каната, изогнутом на блоке.

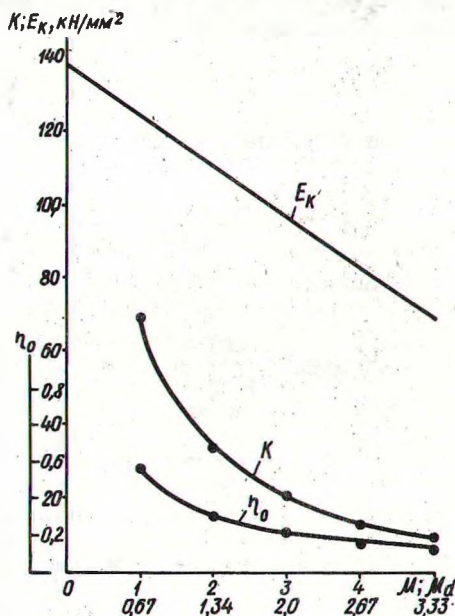


Рис. 3. Схема деформации поперечного сечения каната в желобе блока.

В результате деформация поперечного сечения каната в желобе блока будет иметь ортотропный характер. По оси  $y-y$  (рис. 3) высота сечения будет уменьшаться из-за вторичного изгиба прядей и проволок, упругого снятия желоба и сжатия сердечника. По оси  $x-x$  общая деформация будет равна сумме двух разнонаправленных деформаций: сжатия каната от растягивающей

осевой нагрузки и увеличения сечения от воздействия внутренних упругих сил, направленных наружу. При изгибе каната на блоке появляются новые факторы, такие как геометрия желоба блока, упругие характеристики материала желоба и другие, которые также будут влиять на упругие деформации каната.

Если принять двухосное напряженное состояние поперечного сечения каната на блоке по осям  $y-y$  и  $x-x$  (рис. 1), силовые факторы по указанным осям можно выразить следующим образом:

$$\text{по оси } y-y \quad P_y = 2P_n + q_{\text{ср}}, \quad (33)$$

где  $q_{\text{ср}}$  — равномерно распределенная средняя нагрузка, приходящаяся на одну опорную прядь; по оси  $x-x$ , считая деформацию сердечника абсолютно упругой,

$$P_x = 2P_n - q_{\text{ср}}. \quad (34)$$

Так как по центру желоба канат опирается одной или двумя прядями, чередующимися друг за другом по всей опорной части каната, то давление желоба на прядь в этих случаях будет:

$$\text{а) при опирании на одну прядь} \quad q_1 = \frac{T}{R}, \quad (35)$$

где  $R$  — радиус блока по центру желоба;

$$\text{б) при опирании на две пряди} \quad q_2 = \frac{T}{2R \cos \frac{\pi}{m}}. \quad (35a)$$

Средняя нагрузка на прядь по центру желоба на опорной части каната выразится следующим образом:

$$q_{\text{ср}} = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{T}{2R} \left( 1 + \frac{1}{2 \cos \frac{\pi}{m}} \right), \quad (36)$$

где  $m$  — число прядей в канате.

Деформации поперечного сечения каната по осям можно выразить через модуль поперечной упругости следующим образом (рис. 2):

$$\left. \begin{array}{l} \text{по оси } y-y \quad \epsilon_y = \frac{P_y}{K} \\ \text{по оси } x-x \quad \epsilon_x = \frac{P_x}{K} \end{array} \right\} \quad (37)$$

Однако деформация по оси  $y-y$  в действительности будет значительно большей, нежели вычисленная по формуле (37). Это объясняется наличием в местах контакта с желобом блока вторичного изгиба проволок и упругого сближения контактирующих тел. Эти величины, как показано в работах [1,4,9,13], зависят не только от упругих характеристик каната, но в значительной степени и от геометрических параметров соприкасающихся поверхностей желоба и проволок каната, или точнее от степени "вписывания" прядей и проволок в поверхность желоба блока.

Величина вторичного изгиба пропорциональна разности первоначальных кривизн наружных проволок и поверхности желоба блока в местах их контакта. Для блоков с гладким желобом разность кривизн [4] при  $\alpha = \beta$  равна для канатов крестовой свивки

$$\Delta K_k = \frac{\sin^2 \alpha}{r}, \quad (38)$$

для канатов односторонней свивки

$$r'_k = r_k \frac{\delta^c}{2},$$

$$\Delta K_o = \frac{\sin^2 \alpha}{r} - \left( \frac{\sin^2 2\alpha}{r'_k} - \frac{\sin^2 2\alpha}{r_j} \right), \quad (38a)$$

где  $\alpha$  -- угол свивки проволок в пряди;  $r$  -- радиус наружного слоя проволоки в пряди;  $r_k$  -- радиус каната;  $\delta^c$  -- диаметр наружной проволоки;  $r_j$  -- радиус выточки желоба блока.

В блоках с рифленным желобом "вписывание" проволок и прядей в поверхность желоба значительно благоприятнее и вследствие этого заметно уменьшается вторичный изгиб и величина упругого сближения.

Не вдаваясь в анализ силовых и прочностных факторов взаимодействия каната с рифленным желобом, исходя только из геометрических предпосылок, легко показать, что вторичный изгиб проволок на блоках с рифленным желобом сведен к минимуму.

Кривизна нормального сечения (рис. 4) поверхности желоба, расположенного под углом свивки прядей  $\psi$  к оси каната, может быть найдена по формуле Эйлера

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\cos^2 \psi}{R} - \frac{\sin^2 \psi}{r_{\text{ж}}} - \frac{\sin^2(\beta - \psi)}{r_p}, \quad (39)$$

где  $r_p$  — радиус рифления в нормальном сечении.

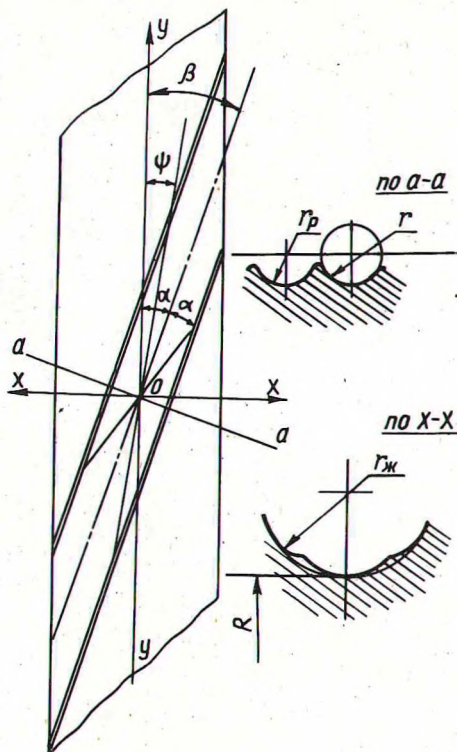


Рис. 4. Схема геометрических элементов рифленого желоба.

Если принять  $\alpha = \beta$ , то кривизна поверхности рифленого желоба по направлению проволоки будет равна для канатов крестовой свивки

$$\frac{1}{\rho_k} = \frac{1}{R} - \frac{\sin^2 \alpha}{r_p}, \quad (40)$$

для канатов односторонней свивки

$$\frac{1}{\rho_o} = \frac{\cos^2 2\alpha}{R} - \left( \frac{\sin^2 2\alpha}{r_{\text{ж}}} - \frac{\sin^2 \alpha}{r_p} \right). \quad (40a)$$

Изгиб проволоки при контакте ее с поверхностью желоба будет определяться разностью кривизны нормального сечения

желоба и начальной кривизны проволоки в канате. Разность эта с учетом знаков кривизны определяется следующим образом:

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} + K_{\text{пр}}, \quad (41)$$

где  $K_{\text{пр}}$  — начальная кривизна проволоки в канате, изогнутом на блоке, равная

$$K_{\text{пр}} = - \frac{\cos^2 \psi}{R} + K'_{\text{пр}}, \quad (42)$$

где  $K'_{\text{пр}}$  — кривизна проволоки в прямом канате, в свою очередь равная

$$K'_{\text{пр}} = \frac{\sin^2 \alpha}{r} + \frac{\sin^2 (\alpha \mp \beta)}{r'_k}. \quad (43)$$

Знак "+" принят для канатов односторонней, а "-" — крестовой свивки.

После подстановки в формулу (41) значений из (39, 40, 40а, 42, 43) окончательно получим для канатов крестовой свивки

$$\Delta K_k = \frac{\sin^2 \alpha}{r} - \frac{\sin^2 \alpha}{r_p}, \quad (44)$$

для канатов односторонней свивки

$$\Delta K_o = \left( \frac{\sin^2 \alpha}{r} - \frac{\sin^2 \alpha}{r} \right) - \left( \frac{\sin^2 2\alpha}{r'_k} - \frac{\sin^2 2\alpha}{r_j} \right). \quad (44a)$$

Сопоставление разности кривизн для блоков с рифленным и гладким желобом показывает, что в первом случае эта характеристика более благоприятна, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1, полученные для каната диаметром 15 мм (ГОСТ 2688-69).

Таблица 1

Тип свивки каната	Разность кривизны, $\Delta K$		Во сколько раз больше на гладком блоке, чем на рифленном
	на блоке с гладким желобом	на блоке с рифленным желобом	
Односторонняя	0,0411	0,0099	4,15 раза
Крестовая	0,0465	0,0153	3,04 "

Таким образом, величина деформации поперечного сечения каната на блоке по оси  $y-y$  зависит от геометрических параметров желоба блока и каната. Так как модуль поперечной упругости является характеристикой упругих свойств только каната, то для характеристики упругого взаимодействия каната с

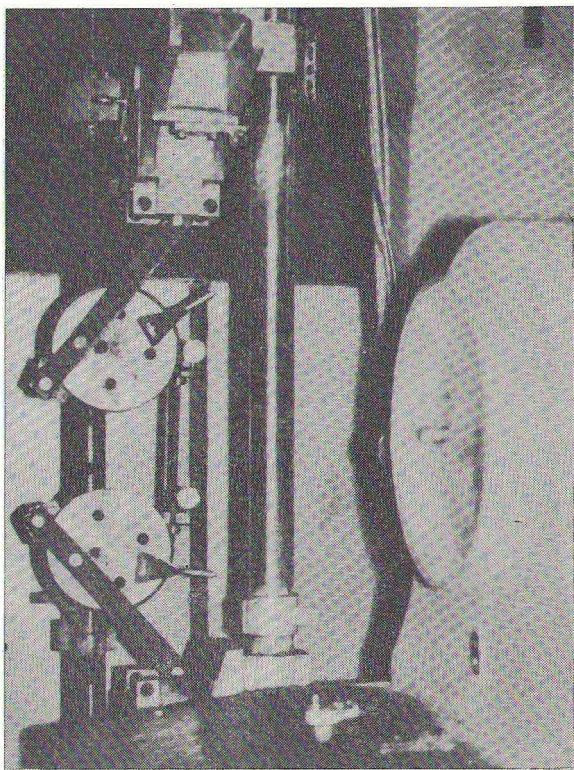


Рис. 5. Приспособление для определения упругих деформаций каната на блоках (к разрывной машине ГМС-20).

блоком необходимо ввести такое значение модуля, которое учитывало бы одновременно свойства каната и желоба блока, что характеризовало бы деформативность поперечного сечения каната в желобе.

В связи с этим учитывается влияние желоба на поперечную упругость каната отдельным коэффициентом, который можно назвать коэффициентом влияния желоба блока. Тогда модуль поперечной упругости каната на блоке будет равен

$$K_{\sigma} = \xi K, \quad (44)$$

где  $\xi$  — коэффициент влияния желоба блока (меньше или равный 1).

Чем ближе значение коэффициента влияния приближается к единице, тем меньше влияние желоба блока на деформацию поперечного сечения каната, тем меньше вторичный изгиб проволок каната на блоке.

Теоретическое вычисление коэффициента влияния в значительной степени затруднено, хотя в принципе и возможно.

Практически целесообразнее коэффициент влияния определять опытным путем. С этой целью были проведены эксперименты по замеру продольных и поперечных деформаций каната 6x19(1+6+6/6)+1.0.С. ГОСТ 2688-69 диаметром 15 мм на гладких и рифленых блоках, а также на прямом участке каната при различном натяжении. Эксперименты проводились на приспособлении, показанном на рис. 5, которое устанавливалось на разрывной машине ГМС-20 и состояло из двух блоков с наборными желобами и рычагов для закрепления концов каната. Канат подвергался натяжению от 0 до 30 кН, и через интервалы в 0,5 кН производились замеры диаметра каната и удлинения базы на прямом участке между блоками, а также размеры поперечного сечения каната на обоих блоках, по осям у-у и х-х. Замеры деформаций производились с помощью индикаторов часового типа и микрометров.

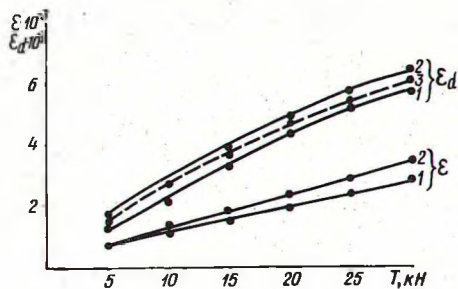


Рис. 6. Зависимость деформаций каната от внешней нагрузки:

1, 2 — экспериментальные значения для канатов соответственно отработавшего 8 тыс. двойных перегибов на пробной машине и нового обтянутого; 3 — теоретические значения.

Для каждого интервала нагрузки выполнялось не менее 8 парных замеров (нагрузка-разгрузка), а каждый замер усреднялся по трем показаниям инструмента. Обработка результатов измерений производилась методами математической статистики.



Результаты экспериментов приведены в виде графиков на рис. 6, 7 и 8. На рис. 6 и 7 показаны деформации каната и модули поперечной и продольной упругости, определенные экспериментально и теоретически. Расчетные величины лежат в интервалах экспериментальных данных, полученных для нового каната, вытянутого 6-кратным нагружением до  $T=30$  кН, и для каната, проработавшего на пробегной машине 8000 двойных перегибов при  $T=20$  кН (расхождения не превышает 10%). Коэффициент приведения практически мало изменяется с ростом напряжения в канате, что позволяет вычислять его по формулам (27) и (31а) в зависимости от коэффициента сужения каната.

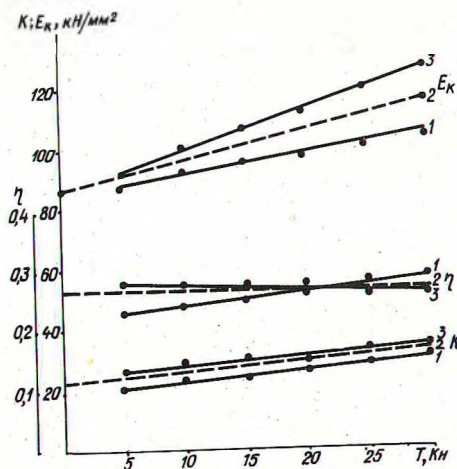


Рис. 7. Зависимость  $E$ ,  $K$ ,  $\eta$  от внешней нагрузки ( $\kappa_1$  каната ГОСТ 2688-69,  $\phi = 15$  мм): 1, 2—экспериментальные значения соответственно для канатов нового, обтянутого и проработавшего 8 тыс. двойных перегибов на пробегной машине; 3—теоретическое значение.

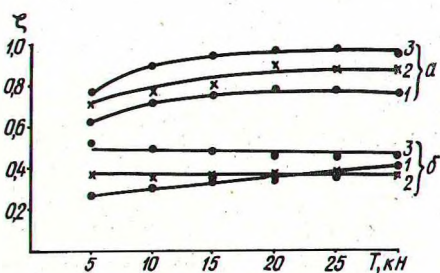


Рис. 8. Значение коэффициента влияния ( $\zeta$ ) для каната  $\phi = 15$  мм ГОСТ 2688-69): 1—канат новый, обтянутый; 2—канат отработал 8 тыс. двойных перегибов; 3—канат отработал 12 тыс. перегибов на пробегной машине: а—рифленый блок; б—гладкий блок.

Как видно на рис. 8, коэффициент влияния на рифленом блоке в 2—2,2 раза выше, чем на блоке с гладкой поверхностью желоба. Обтянутые канаты или бывшие в эксплуатации в

связи с увеличением поперечной и продольной жесткости характеризуются большими значениями коэффициента влияния.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

поперечное сечение каната при силовом взаимодействии с желобом блока деформируется, уменьшаясь на высоте (ось у) и раздавливаясь по оси х-х;

поперечная деформация каната на блоке в значительной степени зависит от геометрии поверхности желоба, из-за вторичного изгиба проволок и контактного смятия желоба. Для блоков с рифленным желобом величина поперечной деформации в 2,0-2,5 раза ниже, чем на блоках с гладким желобом;

деформативность поперечного сечения каната характеризуется модулем поперечной упругости, который наряду с модулем продольной упругости является основным показателем упругих свойств каната. Получена зависимость между модулем поперечной упругости каната и модулем продольной упругости через коэффициент приведения, который для определенной конструкции каната является постоянным;

для характеристики силового взаимодействия каната с желобом блока введено понятие коэффициента влияния желоба, величина которого зависит как от модуля поперечной упругости каната, так и от геометрии поверхности желоба. Для ряда случаев величины коэффициента влияния определены опытным путем;

поперечные деформации каната, характеризующиеся модулем поперечной упругости и коэффициентом влияния желоба следует учитывать в расчетах контактных напряжений и напряжений вторичного изгиба при работе прядевых канатов на блоках.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гавриш Н.П. О причинах разрушения металлической футеровки в направляющих шкивах канатного транспорта. — "Научные труды Харьковского горного института", 1955, № 11.
2. Гончаренко Н.К. Экспериментальное определение конструктивного коэффициента канатов. — В сб.: Многоканатный подъем, М., 1958.
3. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. Киев, 1966.
4. Глушко М.Ф., Волконский В.Ф. Изгиб проволок каната при контакте его со шкивом. — "Горный журнал", 1962, № 10.
5. Коваленко Н.И. Увеличение стойкости стальных канатов, М., 1964.
6. Ковальский Б.С. Теория многослойной навивки каната. — "Докл. АН СССР", т. XXIV, 1950,

№ 8. 7. Ковальский Б.С., Жиряков А.И. Модуль упругости каната двойной свивки. — В сб.: Стальные канаты. Киев, 1970, № 7. 8. Кожин С.В. Нагружение барабана при многослойной навивке. — "Труды ВНИИПТМАШ", вып. 8(30). М., 1962. 9. Колчин А.И. Стальные канаты. М., 1950. 10. Лю-Шоу-Чэнь. Исследование барабанов грузоподъемных машин с многослойной навивкой. Автореф. канд. дис. М., 1961. 11. Мартынихин В.Д. Увеличение срока службы канатов лесотранспортных установок. — "Труды ЦНИИМЭ", вып. 118. М., 1971. 12. Нестеров П.П. К вопросу о модуле упругости проволочных канатов. Многоканатный подъем. М., 1953. 13. Нестеров П.П., Ветров А.П. Влияние параметров свивки стальных канатов на их долговечность. — "Горный журнал", 1964, № 7.

В.Д. Мартынихин, М.А. Цвирко, А.В. Доменикан  
БЛОКИ С РИФЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЖЕЛОБА

В канатно-блочных системах машин и механизмов стальной канат и блок представляют собой пару, от характера взаимодействия которой зависит срок службы прежде всего каната. В этом смысле прядевым канатам, которые имеют самое широкое применение в народном хозяйстве, менее всего соответствует гладкая поверхность желоба.

Ранее нами уже указывалось на целесообразность разработки для таких канатов блоков с рифленной поверхностью желоба в виде винтовых углублений по форме отпечатков прядей [1]. Отмечалось также, что опорная рифленная часть желоба должна состоять из отдельных подпружиненных секций, т.е. обладать упругой податливостью от давления каната [2]. Последняя мера необходима для обеспечения контакта прядей со впадинами рифлений в связи с изменениями шага свивки каната из-за остаточных и упругих деформаций, возникающих при эксплуатации, а также из-за различия канатов одного типоразмера в пределах допусков на изготовление.

Исследования в этом направлении ведутся кафедрой сухопутного транспорта леса и дорожных машин БТИ им. С.М. Кирова совместно с Минским опытно-механическим заводом Минпромстроя БССР и Минским филиалом ВНИИСМИ Минстройдор-маш СССР.