

В. Д. Мартынихин

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ РУСЛА РИФЛЕННЫХ БЛОКОВ

От формы русла и материала блоков в большей степени зависят сроки службы различных канатно-блочных систем. Применяя чугунные, алюминиевые и футерованные пластмассами блоки, можно существенно увеличить срок службы канатов. Но в этом случае срок службы блоков весьма непродолжителен, так как высокие удельные давления на поверхность русла превышают допускаемые для этих материалов нормы. Этим, с одной стороны, объясняется слабое распространение футерованных блоков в подъемно-транспортных машинах. С другой стороны, работа канатов на стальных и чугунных блоках недостаточно удовлетворительна.

Таким образом, проблема повышения долговечности канатов и блоков должна рассматриваться только с точки зрения взаимодействия этих двух элементов. В этом случае очень важную роль играет величина контактных напряжений в местах соприкосновения проволок каната с поверхностью русла блока. Большие контактные напряжения в сочетании со скольжением из-за вращения каната в русле с гладкой поверхностью вызывают быстрое разрушение наружных проволок каната. В частности, это послужило основной причиной создания различных овало- и трехграннопрядных канатов, более дорогих, чем круглопрядные.

Долговечность канатов двойной свивки в большей степени зависит также от напряжений вторичного изгиба проволок каната. Эти напряжения возникают вследствие деформации проволок каната, которые при силовом контакте с руслом принимают кривизну ролика. Контакт происходит по дугам, длина которых зависит от степени деформации пряди, обусловленной величиной удельного давления каната на блок на опорной дуге.

Радикальный и не применявшийся до сих пор способ значительно увеличения срока службы канатов и блоков состоит в применении рифленых блоков, поверхность русла которых представляет собой винтовые углубления в виде оттисков прядей каната двойной свивки. Пряди каната укладываются в углубления рифленой поверхности, в результате чего значительно снижаются контактные напряжения и напряжения вторичного изгиба проволок каната, уменьшается абразивный износ канатов и блоков. Эффект рифленой поверхности достоверно доказан на опыте с рифлеными катками [1] грузовых кареток лесотранспортных установок, где вследствие небольшой дуги обхвата каната катком применялся цельный рифленый обод. Срок службы канатов и катков увеличивался при этом в 10 и более раз.

Для блоков с большими углами обхвата нужна принципиально новая конструкция, так как из-за неизбежного при эксплуатации удли-

нения каната и, следовательно, изменения шага и угла свивки прядей контакт между рифлениями обода и прядями каната будет нарушаться, что крайне отрицательно скажется на сроке службы каната. Выбор только геометрии рифлений не поможет, так как конструкция обода должна быть с переменным шагом рифленой поверхности, изменяющимся от натяжения каната. Это необходимо для попадания прядей в углубления рифленой поверхности при упругих и остаточных удлинениях каната при эксплуатации, а также для работы с канатами одного типоразмера, но с отклонениями диаметров в пределах допуска по ГОСТ.

Таким образом, рифленые блоки должны обладать необходимой степенью упругой податливости, обеспечивающей работу на них канатов одного или нескольких подобных по конструкции типов и одного номинального размера с учетом указанных выше геометрических изменений формы.

На рис. 1 показана схема одной конструкции рифленого блока. Ее особенность заключается в том, что обод состоит из отдельных секций 2, полученных путем косых разрезов цельного обода между углублениями рифлений под углом свивки прядей каната. В каждой секции расположено несколько рифлений, «геометрия» которых рассчитывается, как для участка цельного обода, т. е. пряди в углублениях должны иметь некоторую свободу перемещений. Между секциями шаг рифленой поверхности изменяется за счет зазоров между ними. Давление от ступицы 7 передается при помощи пальцев 3 и 6 и вкладышей 4. Упругая податливость обода обеспечивается за счет упругих колец 5, которые деформируются при повороте вкладышей относительно пальцев 6. Зазоры между секциями меняются от натяжения каната в тех случаях, когда шаг свивки каната не совпадает с шагом рифленой поверхности блока. При вращении блока происходит постоянная упругая деформация упругих колец, при которой будет обеспечен контакт всех прядей каната с рифленой поверхностью в пределах опорной дуги. Поворот секций относительно пальцев 3 происходит от давления каната для получения плавности опорной дуги. Указанные детали расположены между щеками 1 блока. На рис. 2 показан экспериментальный блок, где упругие кольца заменены резиновыми элементами, расположенными между вкладышами. К разновидности этой конструкции относится блок, в котором пальцы 3 (см. рис. 1) заменены шариками, обеспечивающими поворот секции относительно радиальных осей в зависимости от изменения угла свивки прядей каната.

Для расчета рифленой поверхности и величины упругой податливости на основании проведенных исследований и опубликованных работ установим влияние следующих факторов на изменение шага и угла свивки прядей каната двойной свивки: 1) упругой и остаточной деформации; 2) кручения канатов; 3) изгиба каната на блоках; 4) отклонений диаметров каната, допускаемых ГОСТ, от номинального диаметра.

Упругие деформации характеризуются модулем упругости каната, значения которого зависят от конструкции каната (примерно в 1,5—

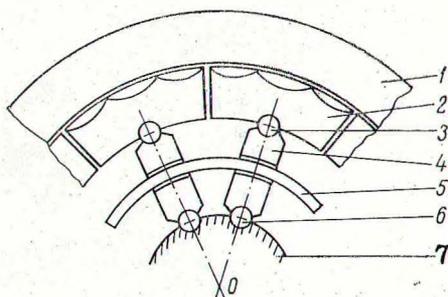


Рис. 1. Схема рифленого блока.

2 раза ниже, чем для стали). При расчете рифленой поверхности можно принять, что величина модуля упругости для обтянутых канатов мало зависит от растягивающего усилия. В действительности величина модуля упругости может приниматься постоянной лишь при нагрузках в диапазоне от 15 до 55% разрывного усилия каната [2]. Остаточные деформации происходят в процессе эксплуатации и составляют около 0,5%. Однако эти данные относятся к шахтным канатам, для которых, как известно, назначаются повышенные по сравнению с кана-

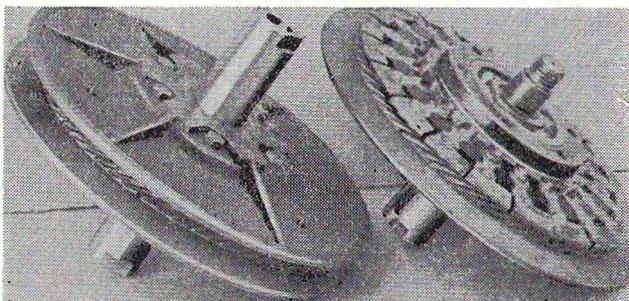


Рис. 2. Экспериментальный блок.

тами грузоподъемных машин и канатных установок коэффициенты запаса прочности.

Продольные деформации канатов сопровождаются поперечными деформациями, в частности, уменьшением диаметра. В работе [3] приводятся данные, характеризующие эту зависимость величиной конструктивного коэффициента каната  $K$ .

$$K = \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_l}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_d$  — относительная поперечная деформация по диаметру каната;  
 $\varepsilon_l$  — относительная продольная деформация.

Этот коэффициент для обтянутых канатов типа  $6 \times 19 + \text{о. с.}$  и  $6 \times 37 + \text{о. с.}$  рекомендуется принимать в пределах  $1,2 \div 1,7$ . Результаты исследований по сужению канатов приводятся также в работе [2]. Для каната  $6 \times 36 + \text{о. с.}$ , ГОСТ 7668-55, при  $\sigma_p = 40 \text{ кг/мм}^2$  величина  $\varepsilon_d$  равнялась 0,1, что несколько выше, чем определенная по вышеприведенному наибольшему значению конструктивного коэффициента.

Шаг свивки прядей от кручения каната изменяется от того, что канат, по определению, приведенному в работе [4], представляет собой естественно закрученную нить. Способность каната раскручиваться при растяжении и удлиняться при раскручивании характерна для целого ряда выпускающихся промышленностью канатов. Однако этого недостатка в значительной мере лишены некрутящиеся канаты, т. е. прогрессивные конструкции, у которых пряди при изготовлении предварительно деформированы в соответствии с формой, которую они имеют в канате.

Рассмотрим определение изменений шага свивки для крутящихся канатов. Закон кручения каната вытекает из его уравнений статики [3].

$$A \frac{du}{dx} + C \frac{dv}{dx} = T, \quad (2)$$

$$C \frac{du}{dx} + B \frac{dv}{dx} = M,$$

где  $T$  и  $M$  — осевое усилие и крутящий момент в рассматриваемом сечении;

$A, B, C$  — обобщенные коэффициенты жесткости каната;

$u, v$  — продольное и угловое перемещение поперечных сечений каната относительно его оси вследствие деформации.

Величина кручения каната зависит от закрепления его концов. При этом канат наиболее подвержен кручению при растяжении свободно подвешенным грузом. Изменение угла и шага свивки может быть найдено по формулам

$$\Delta t = t\varepsilon - t^2 \frac{\theta}{2\pi}, \quad (3)$$

$$\Delta \alpha = r \cos^2 \alpha \theta - \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

где  $r$  — радиус и угол кручения прядей;

$t$  — шаг недеформированного каната;

$\varepsilon = \frac{du}{dx}$  — относительное удлинение;

$\theta = \frac{dv}{dx}$  — относительная деформация кручения.

Значения  $\varepsilon$  и  $\theta$  находятся из вышеприведенных уравнений статики канатов, из которых можно получить

$$\theta = - \frac{CT}{AB - C^2}, \quad \varepsilon = \frac{TB}{AB - C^2}. \quad (5)$$

Знак (-) в первой формуле указывает на то, что канат раскручивается.

Для определения вышеуказанных величин необходимо найти величины  $A, B$  и  $C$ . Приведем их значения для канатов крестовой свивки диаметром 21—22 мм с углом свивки прядей в канат  $16^\circ 30'$  [4]:

$$A = 3,09 \cdot 10^6 \text{ кг}; \quad B = 8,59 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{см}^2; \quad C = 5 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Для канатов других диаметров аналогичных конструкций значения этих коэффициентов вычисляются из соотношений

$$A_1 = Am^2; \quad B_1 = Bm^4; \quad C_1 = Cm^3,$$

где  $m$  — отношение диаметров сравниваемых канатов.

Шаг и угол свивки прядей прямого и изогнутого на блоке каната различны. При расчете рифленой поверхности это обстоятельство должно быть учтено и должен быть рассчитан шаг свивки прядей по вогнутой части каната, прилегающей ко дну русла блока в его середине. Из условий плоского изгиба для этого случая нетрудно получить формулу

$$t_u = t \frac{D_0}{D_0 + d}, \quad (6)$$

где  $t$  — шаг свивки прядей прямого каната;  
 $D_6$  — диаметр блока;  
 $d$  — диаметр каната.

Угол свивки прядей в точках контакта с серединой русла также будет равен

$$\operatorname{tg} \varphi_u = \operatorname{tg} \varphi \frac{D_6 + d}{D_6}, \quad (7)$$

где  $\varphi$  — угол свивки прядей прямого каната.

В связи с последним следует заметить, что угол свивки по линии контакта прядей с руслом будет отличаться от угла свивки прядей каната, который, как известно, относится к оси пряди. При необходимости расчета геометрии впадин рифленой поверхности (например, при изготовлении блоков) нужные зависимости могут быть получены по теории конструирования канатов.

Отклонения диаметров изготовленных канатов от номинальных, допускаемые ГОСТ, имеют большое значение, так как рифленые блоки предназначены для работы с канатами определенных диаметров конструкции. Разновидностей блоков по типам канатов требуется очень немного, так как в промышленности и строительстве в основном применяются шестипрядные канаты.

До 1971 г. действовал ГОСТ 1955 г. С 1971 г. вступил в силу новый ГОСТ, по которому шаг свивки прядей должен приниматься для шестипрядных канатов с органическим и металлическим сердечником  $t \leq 6,5 d$  ( $d$  — диаметр номинального каната).

Отклонения диаметров от  $d$  не должны превышать для шестипрядных канатов с органическим сердечником  $0+7\%$ ; для шестипрядных канатов с металлическим сердечником —  $2$  и  $+6\%$ . Независимо от фактических диаметров канатов одного типоразмера их шаг свивки по условиям изготовления одинаков и будет различен только в углах свивки прядей.

Все перечисленные выше факторы должны учитываться при расчете рифленой поверхности блоков. Покажем это на примере блоков для шестипрядных канатов с органическим сердечником. Возьмем канат ( $d=15$  мм;  $F=0,86$  см<sup>2</sup>;  $E=10^6$  кг/см<sup>2</sup>;  $t=6,5 d$ ) и примем  $T=3000$  кг;  $K=1,5$ ;  $D_6=300$  мм.

Определим шаг, угол свивки и диаметр пряди прямого каната номинального диаметра  $t=6,5d=97,5$  мм,  $d^{\text{нр}}=0,33d=5$  мм,  $\varphi=18^\circ$ .

Найдем те же величины для канатов со средней и предельной величиной допуска  $d_c=1,035d=15,5$  мм,  $d_c^{\text{нр}}=5,16$  мм,  $\varphi_c=18^\circ 30'$ ,  $d_{\text{max}}=1,07$ ,  $d=16$  мм,  $d_{\text{max}}^{\text{нр}}=5,33$  мм,  $\varphi_{\text{max}}=19^\circ$ .

Учтем влияние упругих и остаточных деформаций,  $\varepsilon_t=0,5\%$  (принимаем),  $\varepsilon_{ty} = \frac{T}{EF} = 0,35\%$  (для чистого растяжения),  $\varepsilon_d = K\varepsilon_t = 1,3\%$ .

$$d_d = (1 - \varepsilon_d) = 14,8 \text{ мм}, \quad d_d^{\text{нр}} = 4,9 \text{ мм}, \quad \varphi_d = 17^\circ 30';$$

$$d_{\text{дс}} = 15,3 \text{ мм}, \quad d_{\text{дс}}^{\text{нр}} = 5,1 \text{ мм}, \quad \varphi_{\text{дс}} = 18^\circ;$$

$$d_{\text{д(max)}} = 15,8 \text{ мм}, \quad d_{\text{д(max)}}^{\text{нр}} = 5,3 \text{ мм}, \quad \varphi_{\text{д(max)}} = 18^\circ 30';$$

$$t_d = (1 + \varepsilon_t) = 98,8 \text{ мм}; \quad \Delta t = 1,3 \text{ мм}.$$

С учетом свободного кручения каната  $\Delta t$  определяется по формулам (3) и (5). Обобщенные коэффициенты жесткости в этом случае

равны  $A_1 = 1,57 \cdot 10^6$ ;  $B_1 = 2,06 \cdot 10^4$ ;  $C_1 = 1,7 \cdot 10^5$  и соответственно  $\varepsilon = 0,028$ ;  $\Theta = 0,23 \text{ см}^{-1}$ ;  $\Delta t = 6,2 \text{ мм}$ .

Имея в виду, что при подъеме груза исключается его свободное кручение, этот случай в дальнейшем не рассматриваем.

Определим шаг и углы свивки для канатов, изогнутых на блоке:

$$t_{\text{ди}} = t_{\text{дис}} = t_{\text{д(мак)}} = 94 \text{ мм}; \varphi_{\text{ди}} = 18^\circ 20'; \varphi_{\text{дис}} = 18^\circ 53'; \varphi_{\text{ди(мак)}} = 19^\circ 27'.$$

Таким образом, изменение шага свивки равно  $1,3 \text{ мм}$ , а разница в углах свивки —  $1^\circ$ . Если же сравнивать работу недеформированного каната ( $d_{\text{мак}} = 16 \text{ мм}$ ) и работу деформированного каната ( $d_{\text{д(мин)}} = d_{\text{д}} = 14,8 \text{ мм}$ ), то разница в углах свивки уже будет равна  $1^\circ 30'$ .

По значениям  $\Delta t_u$  и  $\Delta \varphi_u$  назначается сочетание «геометрии» впадин рифленной поверхности, числа рифлений в каждой секции, устанавливается необходимость радиального поворота секций, величина угла обхвата каната рифленной частью русла и др.

Поскольку конструктивно трудно выполнить секции с одним рифлением и в каждой секции имеется несколько рифлений, то пряди в пределах секции должны иметь некоторую свободу перемещений [1]

$$\delta = \frac{\Delta t_u (n - 1)}{6} + a_p \Delta \varphi_u, \quad (8)$$

где  $n$  — число рифлений в секции;

$a_p$  — длина рифления.

При этом угол наклона рифлений должен назначаться для каната  $d_c = 1,035 d$ .

В данном примере при углах обхвата каната руслом и пряди впадиной рифленной поверхности, равных  $120^\circ$ , а также при  $n = 3$  получим для  $\Delta \varphi_u = 1^\circ$ ,  $\Delta t_u = 1,3 \text{ мм}$ ,  $\delta = 1,2 \text{ мм}$ . Геометрически возможная величина  $\delta$  равна  $0,6 \text{ мм}$ . Тем не менее, допуская некоторое смещение прядей каната  $d_{\text{мак}} = 16 \text{ мм}$ , на крайние участки гребней рифленной поверхности можно считать эту величину предельно допустимой.

Если же применить конструкцию блока с радиальным поворотом секций, величина  $\delta$  уменьшается до  $0,4$ — $0,5$ , при этом укладка прядей будет более плотной и напряжения вторичного изгиба уменьшаются.

Рассмотрим определение необходимых величин упругой податливости секций.

При увеличении шага свивки пряди смещаются от середины опорной дуги к ее концам, достигая максимальной величины в точках входа и выхода каната с блока. При уменьшении шага свивки происходит обратное смещение секций. При этом изменение расстояния между крайними рифлениями смежных секций достигается за счет зазора между секциями.

Рассматривая работу упругого обода, нужно иметь в виду следующие два обстоятельства (рис. 3).

1. Допустимое удлинение каната на опорной дуге  $\Delta S^+$  (по сравнению с длиной каната  $t = 6,5 d$ , по которому рассчитывается рифленая поверхность) должно быть меньше суммы номинальных зазоров на опорной дуге, т. е.

$$\Delta S^+ \leq \Sigma \frac{\Delta_0}{\sin \varphi_{\text{дис}}}. \quad (9)$$

В противном случае не обеспечится увеличение шага на опорной дуге. Аналогичное требование должно быть выполнено и при уменьшении шага свивки каната (ГОСТ допускает  $t < 6,5 d$ ). Укороченные каната на опорной дуге должно быть меньше суммы номинальных зазоров на той же дуге, т. е.

$$\Delta S \leq \sum \frac{\Delta_0}{\sin \varphi_{\text{дис}}} \quad (10)$$

2. Расстояние между крайними рифлениями смежных секций на переходном участке, т. е. в местах входа каната на блок, должно быть

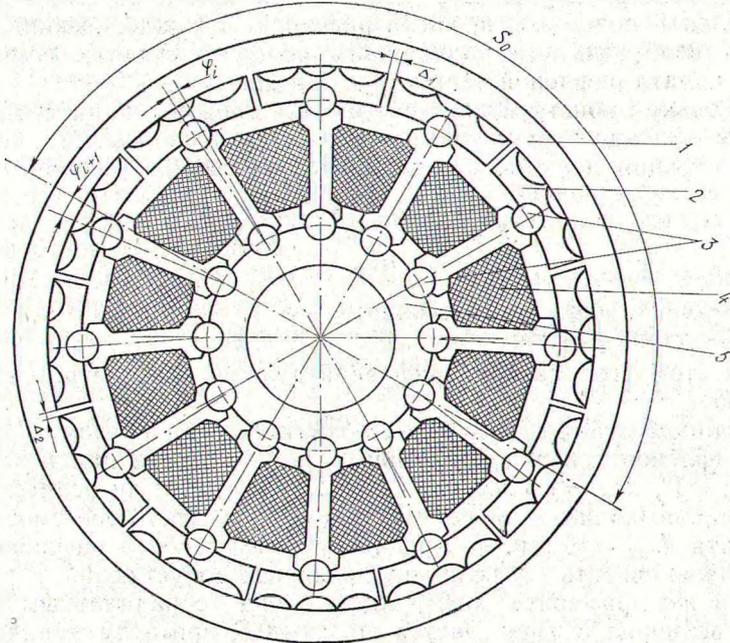


Рис. 3. Схема смещений секций:

1 — щеки; 2 — секции; 3 — шарниры; 4 — вкладыши; 5 — ступицы.

проверено по условиям набегания каната и укладки набегающей пряди в рифление (рис. 4). Минимальное его значение определяется по условию

$$t_{n(\text{min})}^{\text{э}} \geq t_{\text{д.н}}^{\text{э}} - \frac{c}{\sin \varphi_{\text{дис}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{д.н}}^{\text{э}}$  — расстояние между прядями деформированного и изогнутого на блоке каната (межпрядевый шаг свивки);

$c$  — можно принять  $0,35 b$  ( $b$  — длина хорды по сечению пряди на высоте, равной глубине рифлений).

Фактическое значение  $t_{\text{пф}}^{\text{э}}$  с учетом расчетного шага рифленой поверхности  $t_{\text{нр}}^{\text{э}}$  и номинального зазора будет равно

$$t_{\text{пф}}^{\text{э}} = t_{\text{нр}}^{\text{э}} - \frac{\Delta}{\sin \varphi_{\text{дис}}} \quad (12)$$

Очевидно

$$t_{\text{пф}}^a > t_{n(\text{min})}^a.$$

Можно определить также и максимальную величину номинального зазора  $\Delta_{\text{max}}$ . Под зазором подразумевается наименьшее расстояние между секциями, перпендикулярное к плоскости разреза.

Из равенства выражений (11) и (12) можно получить

$$\Delta_{\text{max}} = c - (t_{\text{ди}}^a - t_{\text{ри}}^a) \sin \varphi_{\text{дис}}. \quad (13)$$

Этот расчет сделан для случая, когда зазор на переходном участке под действием упругих элементов стремится к уменьшению (что должно быть предусмотрено конструкцией). Для секций с радиальным поворотом величина  $t_n^a$  измеряется по краям рифлений (см. рис. 4, б). Таким образом, величина зазора между секциями должна подбираться с учетом двух вышеуказанных основных условий работы рифленого блока.

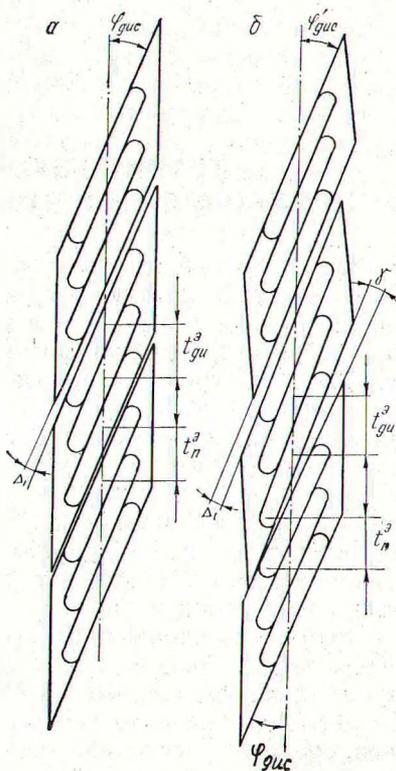


Рис. 4. Схема расположения секций на переходном участке с поворотом их в плоскости вращения блока (а) и с радиальным поворотом (б).

Литература

[1] В. Д. Мартынихин. Увеличение срока службы канатов. «Лесная промышленность», 1968, № 4. [2] В. Д. Белый, К. К. Лесин, А. Ф. Самарский. Выбор, навеска, эксплуатация и контроль шахтных канатов. 1967. [3] М. Ф. Глушко. Стальные подъемные канаты. 1966. [4] Г. Н. Савин, О. А. Горошко. Динамика нити переменной длины. 1962.