

М.В. Полушина, Т.В. Москалева

## ПРИЦЕПНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕЗИНОТРОСОВОГО КАНАТА

Запропоновано безжимковий причіпний пристрій для гумотросового каната, принцип дії якого побудований на самозатисненні стрічки. Розроблена математична модель дозволила вивести критерій самозатиснення каната. Запропоновано конструкцію причіпного пристрою для врівноважуючих та головних гумотросових канатів і залежність між геометричними параметрами пристрою.

Предложено безжимковое причепное устройство для резинотросового каната, принцип действия которого основан на самозажатии ленты. Разработанная математическая модель позволила вывести критерий самозажатия каната. Предложена конструкция причепного устройства для уравнивающих и головных резинотросовых канатов и зависимость между геометрическими параметрами устройства.

The new hitch for rubber-rope belt is described. The principle of operation of this device is based on the belt self-gripping. Using the mathematical model the belts self-gripping criterion and geometrical parameters dependence of device are drawn. The new hitch device is worked out for balance and main rubber-rope belts.

В настоящее время резинотросовые ленты используются в качестве уравнивающих канатов подъемных машин. Для крепления резинотросовых канатов (РТК) к подъемному сосуду применяют жимковую конструкцию (рис. 1), состоящую из трубы 1, приваренной к раме скипа, которую огибает канат 2, и шести жимков 3. Такая конструкция обладает следующими недостатками: сложность запаски РТК при навеске, большая длина участка запанцировки, большие контактные напряжения в РТК в области действия жимков.

Предлагается безжимковое причепное устройство для РТК (рис. 2), устраняющее недостатки жимково-

го устройства, принцип действия которого основан на самозажатии каната.

Устройство состоит из двух неподвижных барабанов, которые огибает РТК. Причем на одном барабане лента уложена в два слоя, и верхний канат, имеющий большее натяжение, прижимает нижний канат, тем самым увеличивая силу трения для нижнего каната. Таким образом, в пределах угла  $\alpha_1$  осуществляется самозажатие каната.

Далее найдем соотношение конструктивных параметров, обеспечивающих условие самозажатия каната.

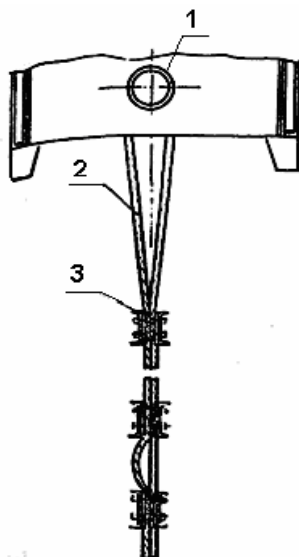


Рис. 1

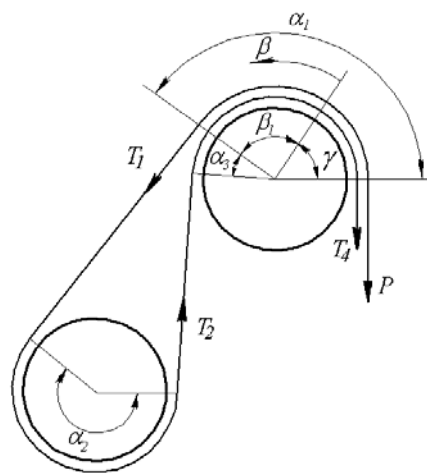


Рис. 2

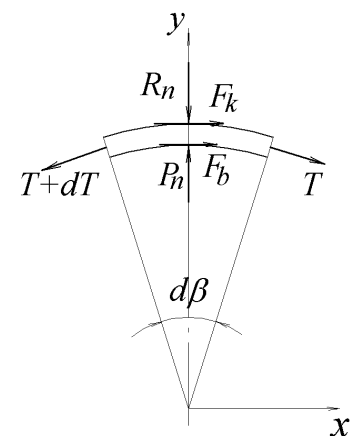


Рис. 3

На рис. 2 обозначено:  $P$  – натяжение каната;  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_4$  – натяжения каната между барабанами устройства и свободного конца,  $\beta_1$  – угол скольжения нижнего каната,  $\gamma$  – угол покоя,  $\beta$  – текущий угол в пределах дуги скольжения.

Рассмотрим равновесие элементарного участка нижнего каната в пределах угла  $d\beta$  (рис. 3), на который действуют силы натяжения каната  $T$  и  $T+dT$ , равнодействующая распределенных нормальных сил со стороны барабана на канат  $P_n$ , равнодействующая

сил трения, возникающих при скольжении каната по барабану  $F_{\delta}$ , равнодействующие распределенных нормальных сил  $R_n$  и сил трения  $F_k$ , возникающих при взаимодействии нижнего и верхнего канатов. Уравнения равновесия имеют вид:

$$\begin{cases} T \cos\left(\frac{d\beta}{2}\right) - (T + dT) \cos\left(\frac{d\beta}{2}\right) + F_k + F_{\delta} = 0; \\ P_n - R_n - T \sin\left(\frac{d\beta}{2}\right) - (T + dT) \sin\left(\frac{d\beta}{2}\right) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Силы трения равны

$$F_b = f_b P_n, \quad F_k = f_k R_n. \quad (2)$$

Подставляя в систему (1) формулы (2), принимая, что  $\sin\left(\frac{d\beta}{2}\right) = \frac{d\beta}{2}$ ,  $\cos\left(\frac{d\beta}{2}\right) = 1$ , и пренебрегая бесконечно малыми высшего порядка, получим

$$\begin{cases} dT - f_b P_n - f_k R_n = 0; \\ P_n - R_n - T d\beta = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Верхний канат скользит по нижнему в пределах всего угла  $\alpha_1$  и его натяжение определяется по формуле Эйлера [1]

$$S = P e^{-f_k(\gamma+\beta)},$$

давление верхнего каната на нижний равно

$$R_n = S d\beta = P e^{-f_k(\gamma+\beta)} \cdot d\beta. \quad (4)$$

Учитывая (4) в уравнениях (3), получим дифференциальное уравнение равновесия нижнего каната в зоне самозажата:

$$\frac{dT}{d\beta} - T f_b = P e^{-f_k(\gamma+\beta)} (f_b + f_k), \quad (5)$$

которое является неоднородным линейным относительно  $T$  и  $dT/d\beta$ . Решаем дифференциальное уравнение (5), используя интегрирующий множитель

$$\mu(\beta) = e^{\int -f_b d\beta} = e^{-f_b \beta}.$$

Общее решение (5) есть [2]

$$T(\beta) = \frac{1}{\mu(\beta)} \left[ \int P e^{-f_k(\gamma+\beta)} (f_b + f_k) \mu(\beta) d\beta + C \right] - e^{f_b \beta} \left[ P e^{-(f_k+f_b)\beta-f_k\gamma} - C \right]. \quad (6)$$

Постоянную интегрирования  $C$  определим при использовании граничного условия: натяжение нижнего каната при  $\beta = \beta_1$ , которое определяется последовательным применением критерия Эйлера на углах обхвата  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

$$\begin{aligned} T(\beta_1) &= P e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_2 + \alpha_3)}; \\ C &= P e^{-f_b (\alpha_1 - \gamma)} \left( e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_2 + \alpha_3)} + e^{-f_k \alpha_1} \right). \end{aligned}$$

Подставляя постоянную интегрирования  $C$  в (6), получаем закон изменения натяжения нижнего каната в области самозажата

$$T(\beta) = -P e^{-f_k(\gamma+\beta)} + P e^{f_b(\gamma+\beta)} \cdot \frac{e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_2 + \alpha_3)} + e^{-f_k \alpha_1}}{e^{f_b \alpha_1}}. \quad (7)$$

На границе между углом скольжения  $\beta$  и углом покоя  $\gamma$ , т.е. при  $\beta = 0$ , получим формулу

$$\frac{T_4}{P} = -e^{-f_k \gamma} + \frac{e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_2 + \alpha_3)} + e^{-f_k \alpha_1}}{e^{f_b \alpha_1}} e^{f_b \gamma}. \quad (8)$$

Так как натяжение  $T_4$  на участке покоя  $\gamma$  равно нулю, то из выражения (8) можно определить значение дуги покоя  $\gamma$

$$\gamma = - \frac{\ln \left( \frac{e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_2 + \alpha_3)} + e^{-f_k \alpha_1}}{e^{f_b \alpha_1}} \right)}{f_k + f_b}, \quad (9)$$

и принимая во внимание, что  $\gamma > 0$ , вывести критерий самозажата каната в безжимковом прицепном устройстве

$$e^{-f_k \alpha_1 - f_b (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)} + e^{-\alpha_1 (f_k + f_b)} < 1. \quad (10)$$

Критерий (10) показывает, что условие нескольжения каната не зависит от натяжения навешенного каната. На нескольжение каната влияют коэффициенты трения каната о барабан и каната о канат, а также углы обхвата каната барабанов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , которые определяются взаимным расположением барабанов.

Исследуем влияние указанных параметров на значение угла  $\gamma$ . Для упрощения и в запас безопасности примем коэффициенты трения равными минимальному из значений  $f_b$  и  $f_k$ , т.е.  $f_b = f_k = f$ , тогда формула (9) будет иметь вид

$$\gamma = \alpha_1 - \frac{\ln(e^{-f(\alpha_2 + \alpha_3)} + 1)}{2f}. \quad (11)$$

Для схемы запасовки, указанной на рис. 2, углы скольжения равны  $\alpha_1 = 2,5$ ,  $\alpha_2 = 3,8$ ,  $\alpha_3 = 0,55$ . На рис. 4 приведен график изменения угла покоя  $\gamma$  от коэффициента трения. Из рисунка видно, что нескольжение обеспечивается при значении  $f > 0,09$ . В действительности коэффициенты трения  $f > 0,2$ .

Выражение (11) позволяет вывести зависимость между геометрическими параметрами  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , определяющими взаимное расположение барабанов прицепного устройства, при котором обеспечивается нескольжение каната

$$\alpha_1 > \frac{\ln(e^{-f(\alpha_2 + \alpha_3)} + 1)}{2f},$$

где значение  $f$  – наименьшее значение из коэффициентов трения  $f_k$  и  $f_b$ .

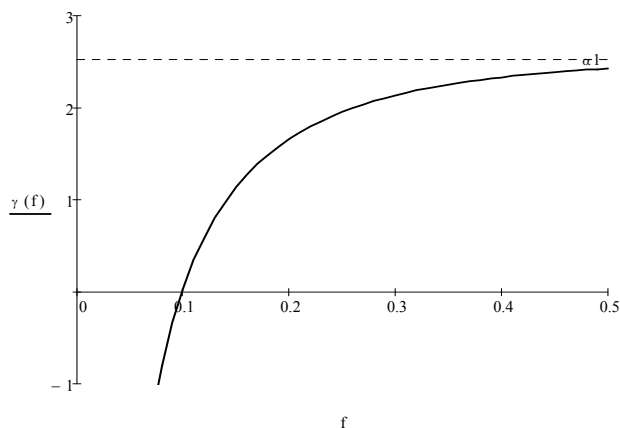


Рис. 4

Работа безжимкового прицепного устройства была проверена на опытном образце. Схема запасовки соответствовала рис. 2. Результаты испытаний показали следующее: проскальзывание каната отсутствует при запасовке сухих канатов, а также смоченных водой; разрушение каната происходит вне зоны запанцировки; отсутствуют механические повреждения РТК в зоне прицепного устройства, прорезание тросами резиновой оболочки.

Таким образом, безопасность безжимкового прицепного устройства для РТК доказана теоретически и подтверждена опытными испытаниями. Так как критерий нескольжения каната не зависит от натяжения в рабочей ветви, то безжимковое прицепное устройство можно использовать как для уравнивающих, так и для головных канатов.

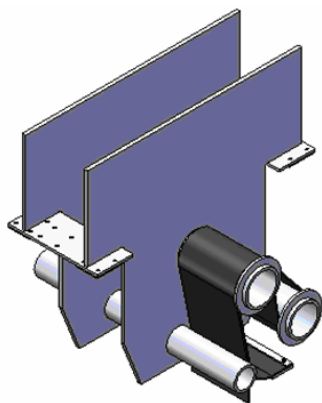


Рис. 5

Используя предложенную идею, разработана конструкция неопрокидного скипа с безжимковым прицепным устройством для уравнивающего и головного РТК. Прицепное устройство для уравнивающего каната (рис. 5) предназначено для крепления двух канатов и представляет собой сварное соединение, которое приваривается к раме скипа. Свободный конец каната прикреплен болтами к планке. Конструкция прицепного устройства для головного каната (рис. 6) состоит из корпуса 1, в отверстие которого

вставляется центральный барабан 2, закрепленный оседержателем 3 и болтами 4, двух отклоняющих барабанов 5, один из которых удерживается крышкой 6, прикрепленной к корпусу с помощью болтов. В трубу 7 вставляется ось для навешивания скипа.

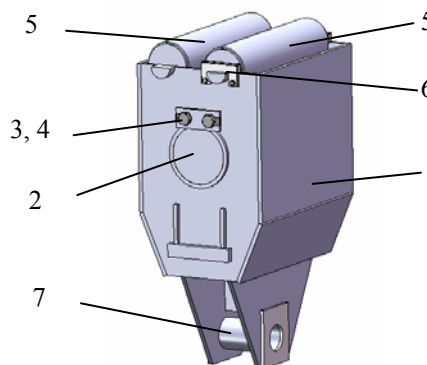


Рис. 6

На рис. 7 представлена поэтапная схема запасовки каната в безжимковом прицепном устройстве. В петлю из каната, временно скрепленную жимком, вставляется отклоняющий шкив, затем крепится центральный барабан таким образом, чтобы канат укладывался на него в два слоя. Далее размещается второй отклоняющий шкив, свободный конец каната крепится к корпусу при помощи планки и болтов.

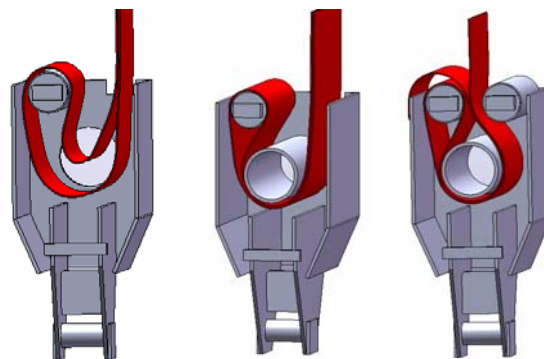


Рис. 7

**Выводы.** Получены критерий нескольжения каната и зависимости между углами обхвата, обеспечивающие нескольжение каната в безжимковом прицепном устройстве. Надежность его доказана теоретически и подтверждена испытаниями.

**Список литературы**

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1974. – 478 с.
2. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком 03.11.09