

INTERNATIONAL SEMINAR ON SHAFT HOISTING TECHNOLOGY

Марат Н. ХАЛЬФИН, Александр Б. ГУРЕВИЧ

Новочеркасский политехнический институт,
Новочеркасск Ростовская обл. СССР

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ, ИМЕЮЩИХ ДЕФЕКТ ВОЛНИСТОСТЬ

Резюме В материалах статьи приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния подъемных канатов в процессе образования в них волнистости.

I. Статистическая обработка данных по эксплуатации 3960 подъемных канатов показала, что с увеличением глубины шахты срок службы канатов уменьшается, при этом каждый 5-ый канат выходит из строя по причине образования волнистости.

На основании проведенных теоретических исследований были получены выражения позволяющие определить дополнительные напряжения растяжения в проволоках каната имеющего волнистость и величину радиуса волнистости применительно к шахтному подъему:

$$\sigma_{\text{ам}} = E \cos^2 \alpha \left\{ \Delta E [\cos^2 \beta - \mu_1 \sin^2 \beta] + \frac{r_k}{R_k} \operatorname{tg} \alpha (1 - \mu_1) \cdot \right.$$

$$\left. \sin^2 \beta \cos \beta \right] + \Delta \theta R_k [\sin \beta \cos \beta - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13} R_k} \sin^2 \beta +$$

* Хальфин М.Н. К расчету канатов с металлическим сердечником Изв. вузов. Горный журнал № 8, 1991 г.

$$+ \operatorname{tg} \alpha \left[\frac{A_{34}}{R_H} (\cos^2 \beta - \frac{\sin^2 \beta \cos \beta \mu_1 A_{23}}{R_H A_{13}}) \right] +$$

$$+ \frac{R_H}{\rho} [(\cos^2 \beta - \mu_1 \frac{A_{34}}{A_{13} R_H} \sin^2 \beta)]; \quad (1)$$

$$R_{\theta_i} = \frac{\frac{1}{\rho_0} + \frac{\Delta_3}{\Delta} Q R_{\theta_0}}{(\frac{1}{\rho_0} + \frac{\Delta_3}{\Delta} Q R_{\theta_0})^2 + (\frac{\sin \beta \cos \beta}{R_H} \pm \theta_{cm} + \theta_{\theta_1} \pm \theta_{\theta_2} + \frac{\Delta_2}{\Delta} \theta R_{\theta_0})^2} \quad (2)$$

где $\Delta \varepsilon; \Delta \theta; \frac{1}{\rho}$ - дополнительные деформации растяжения, кручения и изгиба каната.

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta_1}{\Delta} P_x R_{\theta}; \quad (3) \quad \Delta \theta = \frac{\Delta_2}{\Delta} P_x R_{\theta}; \quad (4) \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\Delta_3}{\Delta} P_x R_{\theta}; \quad (5)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} A_{12} - \mu_1 A_{23} & A_{14} - \mu_1 A_{34} \\ A_{22} - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} & A_{24} - \mu_1 \frac{A_{34} A_{23}}{A_{13}} \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} A_{11} - A_{13} \mu_1 & A_{14} - A_{23} \mu_1 \\ A_{12} - A_{23} \mu_1 & A_{24} - \frac{A_{23}}{A_{13}} \mu_1 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} A_{11} - \mu_1 A_{13} & A_{12} - \mu_1 A_{23} \\ A_{12} - \mu_1 A_{23} & A_{24} - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} \end{vmatrix};$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{m}{2} (A_{14} - \mu_1 A_{34}) & \frac{m}{2} (A_{24} - \mu_1 \frac{A_{34} A_{23}}{A_{13}}) & \frac{m}{2} (A_{44} - \mu_1 \frac{A_{34}^2}{A_{13}}) \\ A_{11} - A_{13} \mu_1 & A_{12} - \mu_1 A_{23} & A_{14} - \mu_1 A_{34} \\ A_{12} - A_{23} \mu_1 & A_{22} - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} & A_{24} - \mu_1 \frac{A_{34} A_{23}}{A_{13}} \end{vmatrix}$$

Здесь m - число винтовых элементов одного слоя; μ - коэффициент сужения каната.

Применительно к шахтному подъему получено выражение радиуса волнистости

где Q - конечная нагрузка; R_{e0} - начальное значение радиуса волнистости; $\frac{1}{R_0}$ - начальная кривизна оси каната; $\theta_{cm}, \theta_{cm}, \theta_{cm}$ - соответственно кручение каната от действия собственного веса каната, винтовой навивки на барабан и от углов девиации.

$A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{22}, A_{23}, A_{33}$ представляют собой соответственно коэффициенты a и $a_0, c, c_0, d, d_0, b, b_0$ полученные ранее проф. М.Ф. Глушко для канатов спиральной и двойной свивки**

Коэффициенты жесткости для канатов спиральной свивки:

$$A_{11} = EF \epsilon_K \cos^2 \alpha - \frac{EJ}{\epsilon_K} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha - \frac{GJ_p}{\epsilon_K} (1 + \mu) \cos \alpha \sin^4 \alpha; \quad (6)$$

$$A_{24} = EF \epsilon_K^2 \sin \alpha \cos^2 \alpha + EJ \sin \alpha \cos^2 \alpha (1 + \cos^2 \alpha) - GJ_p \cos^4 \alpha \sin \alpha (1 + \mu); \quad (7)$$

$$A_{25} = A_{12}; \quad A_{26} = A_{22}; \quad A_{27} = A_{23}; \quad A_{34} = A_{35} = A_{33};$$

$$A_{43} = EF \epsilon_K \sin^2 \alpha \cos \alpha + \frac{EJ}{\epsilon_K} \sin^2 \alpha \cos^3 \alpha + \frac{GJ_p}{\epsilon_K} \sin^4 \alpha \cos \alpha (1 + \mu); \quad (8)$$

$$A_{44} = A_{441} + A_{442};$$

$$A_{441} = EF \epsilon_K^2 \cos^2 \alpha + EJ \cos^3 \alpha + GJ_p \sin^2 \alpha \cos \alpha (1 + \mu)^2; \quad (9)$$

$$A_{442} = EJ \cos \alpha, \quad (10)$$

где ϵ_K и α - соответственно радиус и угол свивки спирального каната; E, G - модули упругости I-го и 2-го рода; J, J_p - осевой и полярный моменты инерции; F - площадь поперечного сечения проволоки.

Для канатов двойной свивки:

$$A_{11} = a_0 R_K \cos^3 \beta \pm c_0 \sin \beta \cos^2 \beta \left(-\frac{g_0}{H} + \sin^2 \beta \right) - \frac{b_0}{R_K} \sin^4 \beta \cos \beta \frac{g_0}{H} - \frac{g_0}{R_K} \sin^2 \beta \cos^2 \beta; \quad (11)$$

$$A_{24} = a_0 R_K^2 \sin \beta \cos^2 \beta \pm c_0 R_K (\cos^5 \beta - \sin^2 \beta \cos \beta \frac{g_0}{H}) - b_0 \sin \beta \cos^2 \beta \frac{g_0}{H} + g_0 \sin \beta \cos^2 \beta (1 + \cos^2 \beta); \quad (12)$$

**М.Ф. Глушко. Стальные подъемные каната. Киев. Техн ка, 1966.

$$A_{34} = a_0 \sin^2 \beta R_k \cos \beta \mp c_0 \sin^3 \beta \left(\frac{g_0}{H} + \cos^2 \beta \right) - \frac{b_0}{R_k} \cdot \frac{g_0}{H} \sin^4 \beta \cos \beta + \frac{g_0}{R_k} \sin^2 \beta \cos^3 \beta; \quad (13)$$

$$A_{44} = A_{441} + A_{442}; \quad (14)$$

$$A_{441} = a_0 R_k^2 \cos^2 \beta \mp c_0 \sin \beta \cos^2 \beta (\cos^2 \beta + \frac{g_0}{H}) + b_0 \sin^2 \beta \cos \beta (1 + \sin^2 \beta) \frac{g_0}{H} + g_0 \cos^2 \beta; \quad (15)$$

$$A_{442} = g_0 \cos \beta. \quad (16)$$

Здесь R_k, β – соответственно радиус и угол свивки каната; g_0 – жесткость пряди на изгиб; H – жесткость пряди на свободное кручение, определяемая по формуле М.Э. Глушко [3].

Известно, что основными эксплуатационными факторами, влияющими на напряженно-деформированное состояние каната, являются кручение каната от собственного веса и от углов девиации, концевая и динамическая нагрузки. Расчеты по (2–5, 14–16) показали, что с увеличением глубины шахты и, соответственно, с увеличением раскручивания каната от его собственного веса существенно возрастает радиус R_k . Как видно из рис. 1, при увеличении глубины с 500 до 2000 м, т.е. при раскручивании каната, радиус R_k увеличивается в 2,25 раза. При закручивании каната радиус волнистости аналогично уменьшается во столько же раз. Поскольку наибольшая деформация раскручивания и наибольшая нагрузка на канат у копрового шкива, то, соответственно, в этом месте будет максимальная величина радиуса волнистости, что согласуется с данными по появлению волнистости, которая, как правило, появляется именно у копрового шкива. Результаты расчета (1, 3–5) дополнительных напряжений каната при волнистости в зависимости от глубины шахты или от его собственного веса показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2 при $R_k = 1$ мм и глубине шахты 1000 м дополнительные напряжения достигают 300 МПа. Это свидетельствует о том, что при прочностном и усталостном расчетах каната эти напряжения нельзя не учитывать. Локализация кручения подъемного каната от его собственного веса возможна применением способа навески каната на шахтную подъемную установку по в.с. СССР № 1256602.

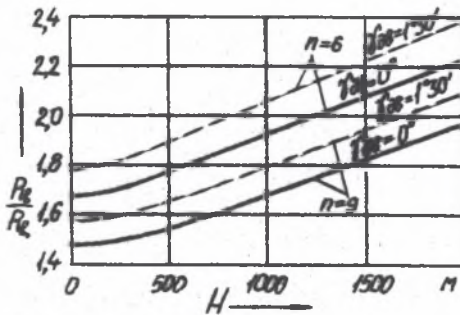


Рис. 1. Влияние глубины шахты на радиус волнистости каната

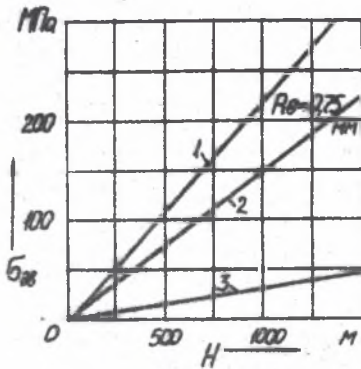


Рис. 2. Влияние глубины шахты на величину дополнительных растягивающих напряжений проволок каната:

1 - центральная прядь; 2 - прядь сердечника; 3 - прядь каната

На рис. 3 и 4 показано влияние концевой нагрузки соответственно на радиус волнистости и на дополнительные напряжения растяжения. Как видно из графиков, при возрастании концевой нагрузки (уменьшении запаса прочности с 9 до 4,5) дополнительные напряжения, возникающие в канатах, имеющих волнистость, превышает или равны напряжениям от растяжения концевой нагрузки. Поэтому при расчете канатов для глубоких шахт необходимо учитывать эти напряжения.

Для исследования влияния углов девиации учитывалось предельное значение угла девиации $\delta = 1'30''$ при эксплуатации шахтных подъемных установок барабанного типа.

Результаты расчета (рис. 5) показывают, что кручение от углов девиации, направленное в сторону раскручивания каната, увеличивает радиус волнистости на 15-20 %, а в сторону закручивания - уменьшает R_k на 10-15 %. Вследствие кручения от углов девиации соответственно увеличивается и неравномерность распределения напряжения растяжения по слоям прядей каната

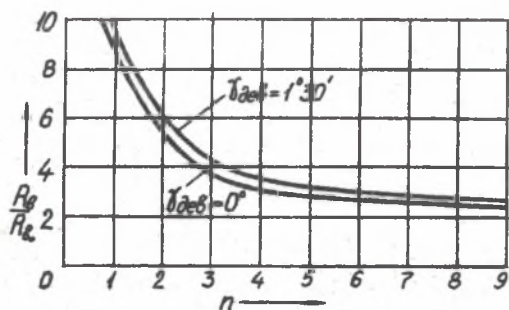


Рис. 3. Влияние концевой нагрузки на радиус волнистости:

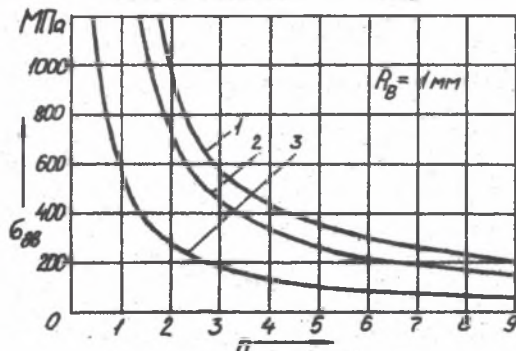


Рис. 4. Влияние концевой нагрузки на радиус волнистости:

1 — центральная прядь; 2 — прядь сердечника; 3 — прядь каната волнистости на 15–20 %, а в сторону закручивания — уменьшает R_g на 10–15 %. Усиление кручения от углов деформации соответственно увеличивается и неравномерность распределения напряжения растяжения по слоям прядей каната.

Для исследования напряженно-деформированного состояния подъемных канатов с образующейся в них волнистостью были изготовлены две установки для испытания канатов (д.с. СССР № 1224622 и № 1118897).

Для исследования были изготовлены образцы канатов $d_k = 4,2$ мм крестовой свивки с металлическим сердечником с различным значением R_g . Результаты испытаний на растяжение и кручение представлены на рис. 5–7. На основании результатов эксперимента можно отметить, что величина неравномерности нагружения прядей каната пропорциональна радиусу волнистости, нагружения прядей происходит по гармоническому закону (косинусоидальному), что соответствует принятому ранее допущению. При закручивании каната неравномерность распределения нагрузки между прядями уменьшается, а при раскручивании увеличивается, соответственно также изменяется и радиус волнистости, что совпадает с расчетом; металлический сердечник каната, имеющего волнистость, перегружен относительно прядей каната при его раскручивании и недогружен при закручивании.

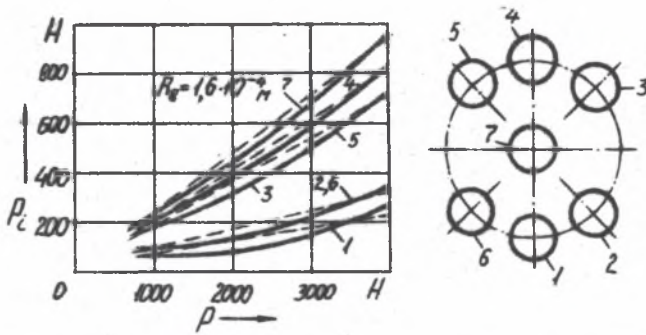


Рис. 5. Распределение растягивающей нагрузки по прядям каната $6 \times I9(I+6+I2) + I \times I9(I+6+I2)$ $d_k = 4,2$ мм; $\delta = 0,28$ мм; I-6 пряди каната; 7 сердечник; ——— опытная кривая; - - - - - теоретическая кривая

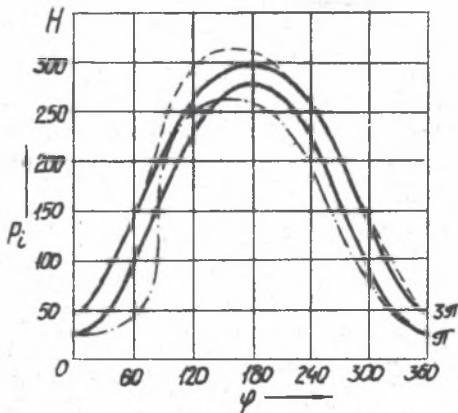


Рис. 6. Нагруженность прядей каната двойной свивки при закручивании: - - - - - опытная кривая при закручивании каната на угол 3π ; - · - · - - опытная кривая при закручивании каната на угол π ; ——— расчетная кривая

На основании теоретических исследования и экспериментальных данных были получены предельные значения диаметров волнистости, при которых возможна безопасная эксплуатация подъемных канатов. Эти данные вошли во "Временную инструкцию по безопасной эксплуатации канатов с образующейся в них волнистостью".

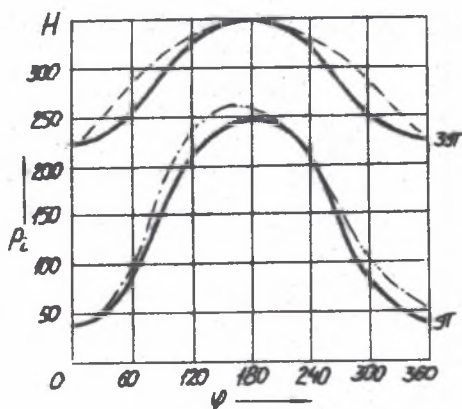


Рис. 7. Нагруженность прядей каната при раскручивании:
 - - - - - опытная кривая при раскручивании на угол 3π ;
 - · - · - · опытная кривая при раскручивании на угол π ;
 ———— расчетная кривая.

Recensent: Prof. sw dr hab. inż. Jerzy Antoniak

Wpłynęło do Redakcji w październiku 1990 r

EKSPLOATACJA NOŚNYCH LIN WYCIĄGOWYCH Z DEFORMACJĄ W POSTACI KORKOCIĄGU

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań stanu odkształceń i naprężeń w linach wyciągowych podczas powstawania w nich deformacji w postaci korkociągu.

OPERATION OF HOISTING ROPES WITH UNDULATION

S u m m a r y

In the paper results of investigation on deformation and stresses existing in hoisting ropes when the process of undulating occurs, is considered.