

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КАНАТА СПУСКО-ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА

Джумагазиева Ш.К.

Еру жүйесінің аралық блоктарының иілуі мен көлденең ығысуларын ескере отырып, арқанның жүру бұтағының кернеулік – деформациялық күйі қарастырылған және арқан сымының нөлден созу күшінің шектік мінінің формуласы алынды.

The condition of a running branch of a rope taking into account cross-section movements and excesses on intermediate blocks maleвой systems is considered tensely-deformiroannoe and the formula of limiting value of longitudinal stretching force for a rope wire is received.

Стальные канаты подъемных устройств различного назначения представляют собой сложные по строению гибкие тела.

Задачам определения усилий и напряжений в элементах стальных канатов посвящена обширная литература. В результате многочисленных теоретических и экспериментальных исследований состояния стальных спиральных канатов и канатов двойной свивки было установлено, что при нагружении осевой растягивающей нагрузкой в основных элементах их структуры - проволоках и прядях, кроме напряжения растяжения действует напряжение кручения и изгиба, а также контактное напряжение, при взаимодействии проволок между собой.

Рассмотрим схему канатно-талевого системы с двумя ходовыми ветвями [1], представленную на рисунке 1.

При исследовании напряженно-деформированного состояния ведущей ветви каната ABCDE, кроме прямолинейных ее участков АВ и CD, необходимо учесть нагружение и состояние каната на участках ВС и ДЕ, огибания блоков 2 и 3 каната, а также на барабане 1.

Если на прямолинейных участках АВ и CD их натяжения $N_A = N_B$, $N_C = N_D$ считается постоянным по длине также как и дополнительные натяжения возникающие от приложения поперечной нагрузки, то на переходных участках ВС и ДЕ - дугах огибания, канат получает также дополнительные усилия натяжения ΔN_{BC} и ΔN_{CD} от изгиба на блоках 2 и 3. Их необходимо учесть при определении результирующих напряжений.

Участки ведущей ветви канат дуги огибания ВС и ДЕ на блоках 2 и 3, будем рассматривать, как гибкие упруго-деформированные нити, огибающие поверхности вращения (торовые поверхности ручьев блоков).

Равновесие этих участков под действием приложенных сил можно описать известным уравнением Эйлера [2]:

$$N\left(\frac{\mu}{\rho}\right) - \left(\frac{\partial N}{\partial S}\right) = 0 \quad \text{или} \quad N\mu' - N'_S = 0, \quad (1)$$

где $N'_s = \left(\frac{\partial N}{\partial S}\right)$

$\mu' = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ - коэффициент трения сопротивления между канатом и блоком,

приведенный к радиусу кривизны каната;

μ - коэффициент трения каната на рабочей поверхности ручья блока;

$\rho \approx R + 0,5d \approx const$ - радиус кривизны осевой линии каната на блоке;

здесь R - радиус рабочей поверхности ручья блока;

d - диаметр каната.

Усилие натяжения - N представляется в виде суммы:

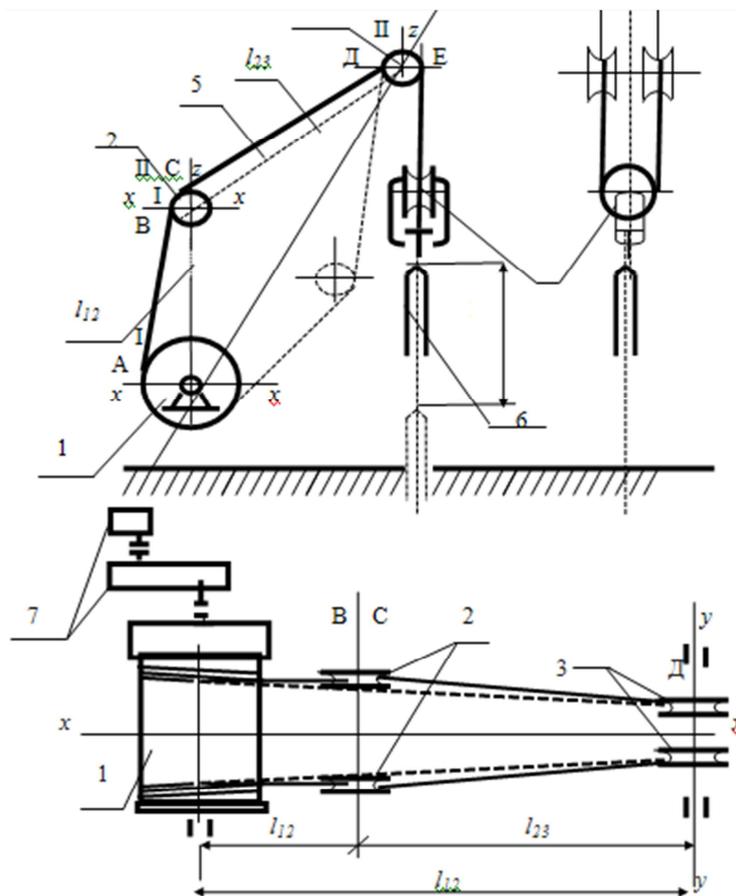


Рисунок 1. – Схема канатно-тальной системы с двумя ходовыми ветвями

$$N = N_0 + \Delta N = N_0 + E_k F_k u'_s, \quad (2)$$

где N_0 - начальное натяжение нити каната в точке сбегания или набегания на блок;

ΔN - дополнительное, переменное по дуге огибания натяжение каната, вызванное смещением элементов структуры каната (проволок и прядей), которое определяется выражением:

$$\Delta N = E_k F_k u'_s, \quad (3)$$

где $u'_s = \left(\frac{\partial u}{\partial s}\right) = \varepsilon_s$ - относительная деформация удлинения элементов

каната.

Изменение усилий натяжения ходовой ветви каната на дугах огибания ВС и ДЕ, блоков 2 и 3 можно определять используя известные соотношения, получаемые из уравнения Эйлера (1), для гибких элементов огибающих поверхности вращения:

$$N'_C = N'_B e^{\mu\alpha_{02}} \quad \text{и} \quad N'_E = N'_D e^{\mu\alpha_{03}}, \quad (4)$$

где α_{02} , α_{03} - углы охвата каната блоков 2 и 3.

Выражения (4) записаны для случая спуска бурового снаряда. По ним при известном натяжении N'_E - ветви каната сбегавшей с блока 3, последовательно находится усилия:

$$N'_D = N'_C; \quad N'_B = N'_A.$$

Более точная оценка дополнительных усилий и напряжений растяжения каната в целом и элементов его структуры (проволок и прядей) при огибании им блоков, шкивов и барабанов, приведена в монографиях С.Т.Сергеева [3].

Так, ось каната с местами соприкосновения прядей с поверхностью ручья блока, получает изгиб на угол - φ , который определяется по формуле:

$$\varphi = 2 \arcsin\left(\frac{t_n}{kD}\right), \quad (5)$$

где t_n - шаг свивки прядей, который принимается в зависимости от диаметра каната - d , k - количество прядей в канате;

D - диаметр блока.

Так как $\frac{t_n}{\pi D k} = \frac{\varphi}{360^\circ}$, то угол можно найти также из отношений:

$$\varphi = \frac{360^\circ t_n}{\pi D_b k}, \quad (6)$$

откуда в свою очередь получены формулы связывающие угол - φ с диаметром каната - d и диаметром блока - D .

Как следует из формулы (6) уменьшение угла обхвата - α_0 блока канатом не влияет на величину угла - φ изгиба оси каната на блоке до тех пор пока канат касается ручья блока тремя и более прядями. В случае когда на угле обхвата - α_0 канат касается ручья блока только двумя прядями, то при уменьшении - α_0 , уменьшается и угол изгиба оси канат на блоке - φ .

Угол охвата - $\alpha_{\text{окр}}$, который по величине равен углу охватываемому вершины трех прядей, т.е. $\alpha\left(\frac{t_n}{k}\right)$ при $k=6$, будет граничным, критическим углом обхвата, равным:

$$\alpha_{\text{окр}} = 2\varphi = \frac{720t_n}{\pi Dk} \approx 285\left(\frac{d}{D}\right). \quad (7)$$

При больших углах обхвата - α_0 блока канатом радиус кривизны оси каната - ρ меньше радиуса блока - $R=0,5D$.

Согласно упрощенному методу определения дополнительных сил возникающих в канате при огибании им блока наибольшее дополнительное усилие может быть определено по формуле [4]:

$$N_{\text{max}}^{\text{дон}} = 0,2\eta d \sqrt{\frac{\mu N_0 E F}{h_u D}}; \quad (8)$$

где $\eta = 1,6\sqrt{1 - 0,01\frac{D}{d}}$ - поправочный коэффициент;

d - диаметр каната;

D - диаметр блока;

N_0 - заданная нагрузка на канат;

E - модуль упругости каната;

F - площадь поперечного сечения;

$\mu = (0,1 \dots 0,2)$ - коэффициент сопротивления;

$h_u = 2\pi r * \text{ctg}\alpha$ - шаг винтовой оси каната в штопоре;

здесь r - расстояние от сечения центра каната до рассматриваемого элемента его структуры - проволоки или пряди;

α - угол свивки каната.

Напряжения в проволоках канатов при их изгибе на блоках можно оценивать приближенно по известной формуле:

$$\sigma_n = kE \frac{\delta}{D}, \quad (9)$$

где δ - диаметр проволоки;

D - диаметр блока;

E - модуль упругости;

k - коэффициент, учитывающий условия изгиба проволоки свитой в прядь и пряди в канат.

Наибольшие напряжения в наружных волокнах проволок каната при упругих деформациях определяются известными зависимостями:

$$\sigma_{\text{max}} = 32M_B / \pi \delta_i^3; \quad \tau_{\text{max}} = 16M_t / \pi \delta_i^3, \quad (10)$$

где M_B , M_t - усилия изгибающие и скручивающие проволоки каната при действии продольных растягивающих сил N_i , которые вычисляются по формуле:

$$M_B = -N_i \rho_i \cos \alpha_i; \quad M_t = N_i \rho_i \sin \alpha_i, \quad (11)$$

здесь ρ_i - радиус осевой линии проволоки как винтовой спирали;

α_i - угол наклона винтовой линии спирали;

δ_i - диаметр проволоки.

Результирующее напряжение в проволоке согласно условию пластичности Мизеса определяется по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau_{\max}^2} \leq \sigma_T, \quad (12)$$

где σ_T - предел текучести материала проволоки.

Рассмотрев напряженно-деформированное состояние ходовой ветви каната с учетом поперечных перемещений и перегибов на промежуточных блоках талевой системы, получили формулу предельного значения продольной растягивающей силы для проволоки каната:

$$N_{i\text{пред}} = \frac{\pi \delta_i^3 \sigma_T}{16 \rho_i \sqrt{4 \cos^2 \alpha_i + 3 \sin^2 \alpha_i}} \approx 0,1 \left(\frac{\delta_i^3}{\rho_i} \right) \sigma_T. \quad (13)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$ - общее число проволок в канате.

Литература:

- 1 А.С. № 19833. Лебедка. /С.А.Джиенкулов, Г.И.Куанышев, Ш.К.Джумагазиева; опубл. 07.03.97, Бюл. № 9. – 4 с.: ил.
- 2 Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев: Техніка, 1966. - 157 с.
- 3 Сергеев С.Т. Надежность и долговечность подъемных канатов. - Киев: Техника, 1968. – 135 с.
- 4 Сергеев С.Т. Стальные канаты. – Киев: Техника, 1974. – 144 с.