

9. Тимошпольский В.И., Болотов В.Ю., Павлюченков И.А. Исследование процессов плавления и траектория движения проволоки при вводе в сталь// Литьё и металлургия. – 1999. - №2. – С.21-23.
10. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука. – 1977. – 656 с.
11. Полозюк О.Е. Математическое моделирование и рациональные режимы обработки металлургических расплавов порошковой проволокой// Рукопись дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Мариуполь. – 1997. – 158с.
12. Дюдкин Д.А., Онищук В.П., Гринберг С.Е. Рафинирование металла порошковой проволокой// Металл и литьё Украины. – 2000. - №№ 3-4. – С.11-12.
13. Лю Д.Ж., Айронс Д.А., Лю В.К. Исследование кинетики ввода кальцийсодержащей проволоки в сталь// Обработка стали кальцием. Международный симпозиум. – Киев. – 1985. – С.59-74.
14. Исихара К., Суда О., Мацубара К. Применение силикокальциевой порошковой проволоки в фирме "Topy industries"// Обработка стали кальцием. Международный симпозиум. – Киев. – 1985. – С.88-107.

пост. 20.01.06.

Геометрические уравнения деформации основного элемента каната с учетом явления ползучести

Л.М. МАМАЕВ, Ю.В. ШКИРКО

Днепродзержинский государственный технический университет

Получена система дифференциальных уравнений статики каната, выражающая зависимость между деформациями его элементов, внешней нагрузки и температуры нагрева с учетом пластической деформации.

Отримана система диференційних рівнянь статики каната, виражаюча залежність між деформаціями його елементів, зовнішнього навантаження та температури нагріву з урахуванням пластичного деформування.

The system of differential equation of the rope statics expressing the dependence between deformation of its elements, external load, heating temperature taking into account plastic deformation has been obtained.

В условиях совместного температурного и механического воздействия работают кабель-канаты, в частности, каротажные кабели, биметаллические тросы (витые провода) высоковольтных линий электропередач, антенные системы, канаты грузоподъемных устройств, транспортирующих жидкий или раскаленный металл и т.д. Во всех этих случаях совместное действие на канат механической нагрузки и температуры во времени может привести к ползучести составляющих канат элементов и, в конечном итоге, перераспределению деформаций и напряжений. Поэтому при построении механического расчета таких конструкций необходимо учитывать перераспределение напряжений во времени за счет ползучести.

На канат (или кабель-канат) в процессе эксплуатации действуют механические и тепловые нагрузки. Под их воздействием винтовой элемент каната получает деформацию ε_s , состоящую из упругой ε_{ei} и пластической ε_{pi} деформаций, т.е.

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{ei} + \varepsilon_{ci} \quad (1)$$

Относительное удлинение проволоки при нагреве каната

$$\varepsilon_t = \nu \Delta t, \quad (2)$$

где ν - коэффициент линейного температурного расширения; Δt - перепад температуры.

Изменение температуры сопровождается продольными ε и угловыми V перемещениями его поперечных сечений и изменением радиусов. Деформации проволоки, вызванные этими перемещениями, находим из уравнения:

$$\varepsilon_s = \frac{dY}{dx} = \cos^2 \alpha + r \frac{dV}{dx} \sin \alpha \cos \alpha + \varepsilon_r \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где r и α - радиус и угол свивки проволоки; S - координата оси каната.

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r} \quad (4)$$

есть относительное изменение радиуса свивки вследствие обжатия слоев проволоки и изменения температуры.

Радиус свивки \hat{l} - того слоя проволоки

$$r_i = \frac{\delta_o}{2} + \sum_{k=1}^{k=i-1} \delta_k + \frac{\delta_i}{2}, \quad (5)$$

где δ_o - диаметр центральной проволоки; δ_k ($k = 1, 2, 3, \dots, i-1$) - диаметры проволок внутрилежащих слоев; δ_i - диаметр проволок в рассматриваемом слое.

При изменении температуры происходит изменение радиуса свивки проволоки:

$$\Delta r_i = (\delta_o \nu_o + 2 \sum_{k=1}^{k=i-1} \delta_k \nu_k + \delta_i \nu_i) \frac{\Delta t}{2}. \quad (6)$$

Для каната из однородного материала

$$\Delta r_i = r_i \Delta t. \quad (7)$$

В формуле (6) v_o , v_k , v_i - коэффициенты линейного температурного расширения соответствующих слоев проволок.

Без учета механического обжатия слоев проволок можно записать:

$$(\varepsilon_r)_i = \frac{\Delta r_i}{r_i} = \psi_i \Delta t, \quad (8)$$

$$\text{где } \psi_i = \frac{1}{2r_i} \left[\delta_o v_o + 2 \sum_{k=1}^{k=i-1} \delta_k v_k + \delta_i v_i \right]. \quad (9)$$

Температурное поле по сечению каната предполагаем равномерным. Предполагается также, что деформация каната подчиняется гипотезе плоских поперечных сечений и неискривления радиусов. Тогда упругая деформация винтового элемента каната

$$\varepsilon_{ei} = \varepsilon_{si} - \varepsilon_{ti}. \quad (10)$$

Учитывая вероятность возникновения пластических деформаций с течением времени при совместном воздействии механической нагрузки и температуры (1), получим полную деформацию проволоки:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{si} + \varepsilon_{ci} - \varepsilon_{ti}. \quad (11)$$

В соответствии с вышеизложенным величина (11) окончательно принимает вид:

$$\varepsilon_i = \frac{dY}{dx} \cos^2 \alpha_i + r_i \frac{dV}{dx} \sin \alpha_i \cos \alpha_i + \sigma_i^n \eta - (v_i - \psi_i \sin^2 \alpha_i) \Delta t, \quad (12)$$

где σ_i^n - степенная функция напряжения, η - функция времени.

Нормальное напряжение σ_i и осевое усилие P_i в проволоке будет равно:

$$\sigma_i = E_i \varepsilon_i; \quad P_i = E_i F_i \varepsilon_i, \quad (13)$$

где E_i - модуль упругости; F_i - поперечное сечение проволоки.

Осевая сила T_i и крутящий момент M_i , действующие на i -тую проволоку, равны:

$$T_i = P_i \cos \alpha_i; \quad M_i = P_i r_i \sin \alpha_i. \quad (14)$$

Тогда полное осевое усилие и крутящий момент можно найти сложением этих составляющих во всем проволокам:

$$T = \sum T_i; \quad M = \sum M_i. \quad (15)$$

После необходимых подстановок в уравнения (15) и математических преобразований в конечном итоге получим такую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T &= A \frac{dY}{dx} + C \frac{dV}{dx} + \eta \omega_1 - \lambda \Delta t; \\ M &= C \frac{dY}{dx} + B \frac{dV}{dx} + \eta \omega_2 - \gamma \Delta t. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Здесь

$$A = \sum E_i F_i \cos^3 \alpha_i; \quad (17)$$

$$B = \sum E_i F_i r_i^2 \sin \alpha_i \cos \alpha_i; \quad (18)$$

$$C = \sum E_i F_i r_i \cos^2 \alpha_i \sin \alpha_i; \quad (19)$$

$$\lambda = \sum E_i F_i (v_i - \psi_i \sin^2 \alpha_i) \cos \alpha_i; \quad (20)$$

$$\gamma = \sum E_i F_i (v_i - \psi_i \sin^2 \alpha_i) r_i \sin \alpha_i; \quad (21)$$

$$\omega_1 = \sum E_i F_i \cos \alpha_i \sigma_i^n; \quad (22)$$

$$\omega_2 = \sum E_i F_i r_i \sin \alpha_i \sigma_i^n. \quad (23)$$

Величины A , B и C представляют собой агрегатные коэффициенты жесткости каната. (A - жесткость каната при чистом растяжении; B - жесткость каната при чистом кручении; C - коэффициент взаимной деформации).

Агрегатные коэффициенты λ и γ являются соответственно продольной и крутильной температурной жесткостью каната при стесненной температурной деформации.

Агрегатные коэффициенты ω_1 и ω_2 учитывают влияние пластического деформирования.

Если канат состоит из однородного материала, тогда коэффициенты λ и γ упрощаются к виду:

$$\lambda = \nu A; \quad \gamma = \nu C. \quad (24)$$

и уравнения статики запишутся так:

$$\left. \begin{aligned} T &= A \left[\frac{dY}{dx} - \nu t(x) \right] + C \left[\frac{dV}{dx} + \eta \omega_1 \right]; \\ M &= C \left[\frac{dY}{dx} - \nu t(x) \right] + B \left[\frac{dV}{dx} + \eta \omega_2 \right]. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Таким образом, полученная система дифференциальных уравнений статики каната (16) выражает зависимость между деформациями кабель-каната, приложенной к нему внешней нагрузки и температурой нагрева с учетом пластического деформирования от времени.

Расчет напряжений в канате необходимо осуществлять в следующей последовательности. По заданной внешней нагрузке и температуре из уравнений статики находятся агрегатные деформации каната. Затем необходимо найти деформации отдельных его составных элементов.

Привлекая далее известные зависимости теории упругости, определяют силовые факторы и напряжения в проволоках каната с учетом явления ползучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безухов Н.И., Основы теории упругости, пластичности и ползучести, М, 1968.
2. Глушко М.Ф., Стальные подъемные канаты, Киев, «Техника», 1966.
3. Глушко М.Ф., Волоконский В.Ф., Мамаев Л.М. Расчет канатов и биметаллических тросов линии электропередач с учетом температура-турного воздействия, Сб. «Стальные канаты», № 5, 1968.