

ОБ УПРУГОМ И ПЛАСТИЧЕСКОМ УДЛИНЕНИИ ПОДЪЕМНЫХ КАНАТОВ

Н. И. КЛЫКОВ

(Представлено научным семинаром электромеханических кафедр горного факультета)

На рудничных подъемах получили распространение стальные проволочные канаты. Материал проволок каната обладает упруго-пластическими свойствами. Кроме того, под действием растягивающих нагрузок в канате происходит некоторое взаимное перемещение проволок, канат получает дополнительное пластическое удлинение— „вытяжку“, в результате которой с течением времени необходимо производить регулирование длины каната. Правильное решение вопроса регулирования длины каната связано с необходимостью в определении численных значений величин упругой и пластической деформации каната. Значения этих величин следует учитывать и при решении других задач: установления критерия прочности каната в производственных условиях, более точное определение длины навешиваемого каната и т. д.

В работе производится анализ основных факторов, влияющих на величину пластической и упругой деформации каната.

Общий вид диаграммы растяжения отдельных стальных проволок каната представлен на рис. 1. До точки A на диаграмме, соответствующей пределу упругости, материал подчиняется закону Гука. Участок OAA_1 является зоной упругих деформаций. Вправо от линии AA_1 находится зона упруго-пластических деформаций материала.

Как показывают наблюдения, необтянутый подъемный канат наряду с упругим удлинением получает пластическое удлинение при напряжениях, значительно меньших предела упругости материала проволок. Это объясняется конструктивными особенностями подъемного каната. Следовательно, с достаточной точностью можно считать, что необтянутый канат работает в зоне упруго-пластических деформаций.

Условно фактическую диаграмму растяжения каната с достаточной для практических целей точностью можно заменить полигональной,

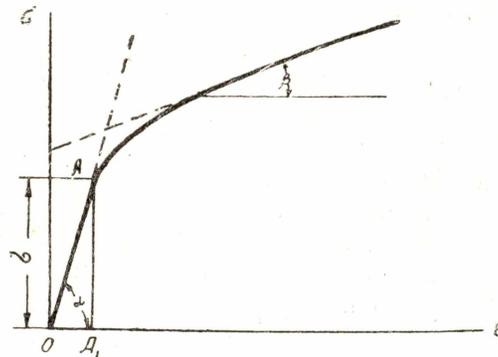


Рис. 1. Диаграмма растяжения материала каната.

состоящей из двух наклонных участков (рис. 2). Ввиду того, что необтянутый канат работает в зоне упруго-пластических деформаций, начало координат переносим в точку O_1 . По вертикальной оси откладываем приведенные напряжения, по горизонтальной—значения относительных деформаций каната. Обозначим на диаграмме через α и β углы наклона линий к горизонтальной оси—соответственно для упругой и упруго-пластических зон. Величину $E'_k = \text{tg } \beta$ назовем модулем общей деформации каната, в отличие от модуля упругости каната $E_k = \text{tg } \alpha$ [1, стр. 308, 312].

На рудничных подъемных установках чаще всего производится навеска новых, еще необтянутых канатов. Начальное пластическое удлинение каната соответствует периоду навески и первоначальной регулировки длины каната. Этот период по сравнению со сроком эксплуатации каната незначителен, поэтому фактор времени в расчет не принимается.

В соответствии с рис. 2 величина относительной начальной пластической деформации

$$\varepsilon_{\text{пл.н}} = \frac{S}{\Sigma F} \left(\frac{1}{E'_k} - \frac{1}{E_k} \right), \quad (1)$$

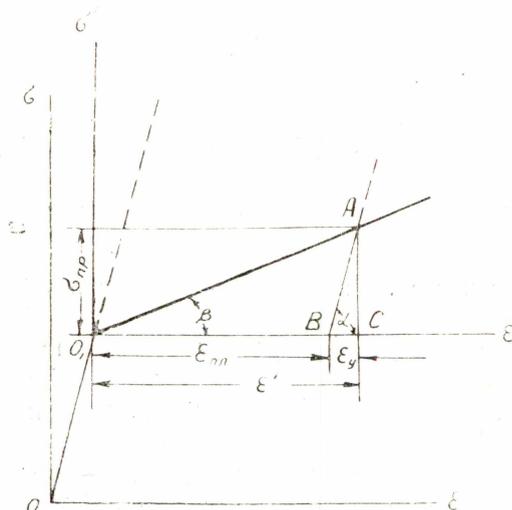


Рис. 2. Спрямленная диаграмма растяжения каната.

где S —наибольшее растягивающее усилие, кг;

ΣF —площадь сечения всех проволок каната, см^2 .

Растягивающее усилие с учетом концевой нагрузки, собственного веса каната, шахтных сопротивлений, возможной перегрузки сосудов и динамических нагрузок

$$S = Q_0 + p \frac{H_0}{2} + \frac{k' Q_0}{n+1} + \frac{k_n Q_0}{n+1} + \left(Q_0 + \frac{p H_0}{2} \right) \frac{j_c}{g} \cdot \frac{j_m}{j_c}, \quad (2)$$

где Q_0 —концевая нагрузка, кг;

p —вес 1 м длины каната, кг/м;

H_0 —наибольшая длина отвеса каната, м;

k' —коэффициент шахтных сопротивлений для одной ветви;

n —отношение собственного веса подъемного сосуда к весу полезного груза;

k_n —коэффициент перегрузки сосуда;

j_c —среднее ускорение, м/сек^2 ;

j_m —максимальное ускорение, зависящее от характера пуска двигателя, м/сек^2 ;

g —ускорение силы тяжести, м/сек^2 ;

Расчет каната производится по формуле [2, стр: 48]

$$p = \frac{Q_0}{\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{пч}}$ — предел прочности каната, кг/мм²;
 m — запас прочности каната;
 γ_0 — фиктивный вес 1 м³ каната, кг/м³
 Из (3) расчетная концевая нагрузка составит

$$Q_0 = p \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0 \right). \quad (4)$$

Подставив значение расчетной концевой нагрузки (4) в выражение (2), получим

$$S = p \left[\frac{j_m + g}{g} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - \frac{H_0}{2} \right) + \frac{k' + k_n}{n + 1} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0 \right) \right]. \quad (5)$$

Модуль упругости каната [3, стр. 16]

$$E_k = 0,86 \cdot 10^6 \left(\frac{\Sigma F}{p} \right)^4. \quad (6)$$

Значение модуля общей деформации, определенное экспериментальным путем, составляет в среднем

$$E'_k \approx 0,6 E_k. \quad (7)$$

Подставив значения наибольшего растягивающего усилия (5), модуля упругости каната (6) и приведенного модуля деформации (7) в выражение (1), получим

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пл.н}} = & 0,8 \cdot 10^{-6} \left(\frac{p}{\Sigma F} \right)^5 \left[\frac{j_m + g}{d} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - \frac{H_0}{2} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{k' + k_n}{n + 1} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0 \right) \right]. \quad (8) \end{aligned}$$

Таким образом, величина относительного начального пластического удлинения каната зависит в основном от характеристики каната, высоты подъема и характера пуска подъемного двигателя.

Значение относительной начальной пластической деформации каната для скиповых подъемов с контакторным пуском асинхронного двигателя и средней высоте подъема составляет (рис. 3)

$$\varepsilon_{\text{пл.н}} \approx 0,002. \quad (9)$$

При эксплуатации подъемного каната всякому изменению концевой нагрузки соответствует определенное значение упругой деформации (линии *AB* на рис. 2).

При решении вопросов, связанных с регулированием длины каната, существенное значение имеет величина упругой деформации каната перед посадкой подъемного сосуда под загрузку. Величина относительной упругой деформации каната в этом случае составит

$$\varepsilon_y = \frac{k Q_0}{\Sigma F \cdot E_k}, \quad (10)$$

где k —коэффициент концевой нагрузки.

При спуске груза коэффициент концевой нагрузки равен единице. При посадке порожнего сосуда

$$k = \frac{n + a}{n + 1}, \quad (11)$$

где a —коэффициент загрузки сосуда в движении (учитывается только при применении автоматически загружающихся скипов).

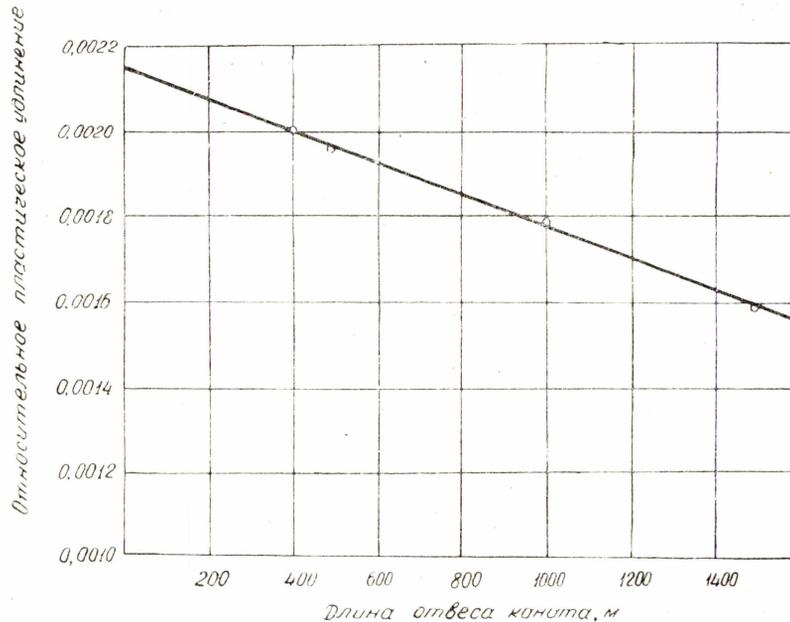


Рис. 3. Начальное пластическое удлинение каната.

Подставив в выражение (10) значение расчетной концевой нагрузки (4) и модуля упругости каната (6), получим

$$\varepsilon_y = 1,16 \cdot 10^{-6} \frac{n + a}{n + 1} \left(\frac{p}{\Sigma F} \right)^5 \left(\frac{\sigma_{пч} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0 \right). \quad (12)$$

Таким образом, величина относительной упругой деформации каната перед посадкой подъемного сосуда на нижнюю приемную площадку зависит от характеристики каната и высоты подъема. Влияние собственного веса каната при расчете не учитывалось, так как в условиях эксплуатации разгрузка каната от действия собственного веса не происходит.

Абсолютная упругая деформация каната в этом случае

$$\Delta L_y = \varepsilon_y H_0. \quad (13)$$

Пример. Определить величину относительной и абсолютной упругой деформации каната перед посадкой сосуда, если подъемная установка имеет: высоту подъема 390 м; диаметр каната 39 мм; скипы шеститонные с секторным затвором.

Решение. Принимаем длину отвеса каната равной 400 м; коэффициент загрузки скипа в движении 0,1; отношение веса сосуда к по-

лезному весу груза 0,805 [2, стр. 32]; вес 1 м длины каната 5,312 кг/м [2, стр. 52], площадь сечения всех проволок 5,6562 см²; предел прочности каната 180 кг/мм²; фиктивный вес каната 9200 кг/м³; расчетный запас прочности каната 6,5.

Относительная упругая деформация каната

$$\epsilon_y = 1,16 \cdot 10^{-6} \frac{0,805 + 0,1}{0,805 + 1} \left(\frac{5,312}{5,6562} \right)^5 \left(\frac{180 \cdot 10^6}{9200 \cdot 6,5} - 400 \right) = 0,0011.$$

Абсолютная величина упругой деформации $\Delta l_y = 0,0011 \cdot 400 = 0,44$ м.

Величина относительной пластической деформации каната в период эксплуатации зависит в основном от двух факторов: наибольшего растягивающего усилия и времени эксплуатации

$$\epsilon_{\text{пл.э}} = \frac{0,9 S t^{0,163}}{\Sigma F \cdot E'_k}, \quad (14)$$

где t — время эксплуатации каната с момента навески, мес.

Значения коэффициента 0,9 и показателя степени 0,163 определены экспериментально, путем измерения пластического удлинения каната через известные промежутки времени. Растягивающая сила вычислась по выражению (5).

Подставляя в выражение (14) значение растягивающей силы (5) и приведенного модуля деформации (7), получим

$$\epsilon_{\text{пл.э}} = 1,75 \cdot 10^{-6} \left(\frac{P}{\Sigma F} \right)^5 t^{0,163} \left[\frac{j_m + g}{g} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - \frac{H_0}{2} \right) + \frac{k' + k_n}{n+1} \left(\frac{\sigma_{\text{пч}} \cdot 10^6}{\gamma_0 m} - H_0 \right) \right]. \quad (15)$$

В практических расчетах значение эксплуатационной относительной пластической деформации каната для скиповых подъемных установок шахт средней глубины в зависимости от времени эксплуатации каната с достаточной точностью можно принять (рис. 4)

$$\epsilon_{\text{пл.э}} = 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,163}. \quad (16)$$

Пример. Определить суммарное пластическое удлинение двух канатов через четыре месяца, если до этого первый канат проработал два месяца, а другой канат — восемь месяцев. Наибольшая длина отвеса каната 400 м; длина струны каната 50 м.

Решение. Абсолютное пластическое удлинение одного каната

$$\Delta l_{\text{пл.1}} = 5,6 \cdot 10^{-3} (400 + 50) [(2 + 4)^{0,163} - 2^{0,163}] = 0,55 \text{ м.}$$

Абсолютное пластическое удлинение другого каната

$$\Delta l_{\text{пл.2}} = 5,6 \cdot 10^{-3} (400 + 50) [(8 + 4)^{0,163} - 8^{0,163}] = 0,25 \text{ м.}$$

Суммарное пластическое удлинение канатов

$$\Delta l_{\text{пл.}} = 0,55 + 0,25 = 0,8 \text{ м.}$$

В приведенных расчетах принимался необтянутый канат. В случае предварительной вытяжки каната известной силой S_b величины на-

начальной и эксплуатационной пластической деформации должны распределяться с учетом этой силы. Если сила предварительной вытяжки каната меньше наибольшего эксплуатационного растягивающего усилия, то величина относительной начальной пластической деформации

$$\epsilon_{\text{пл.н}} = \frac{S - S_{\text{в}}}{\Sigma F \cdot E'_{\text{к}}}, \quad (17)$$

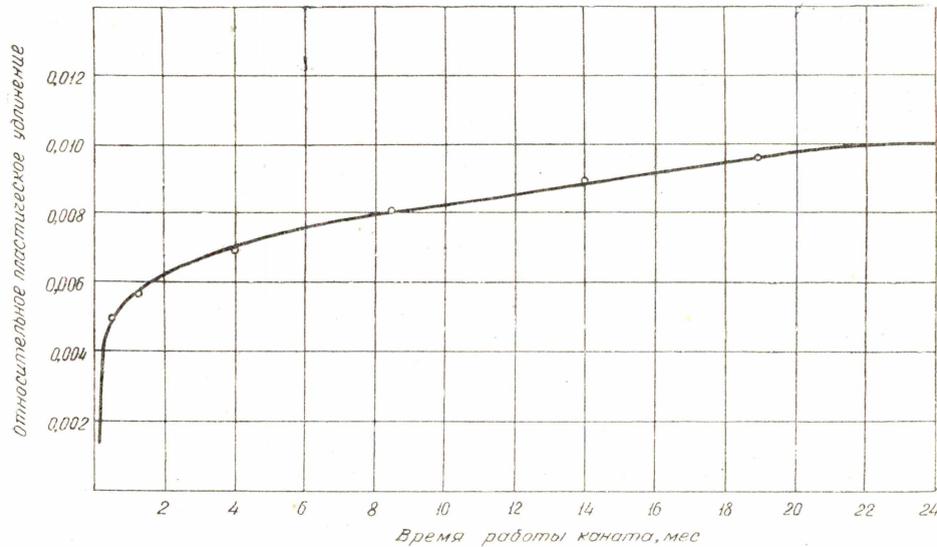


Рис. 4. Эксплуатационное пластическое удлинение каната.

а величина относительной эксплуатационной деформации определится из выражений (14), (15) или (16).

Если сила предварительной вытяжки каната равна или больше эксплуатационного растягивающего усилия, то начального пластического удлинения каната не происходит, а относительная эксплуатационная пластическая деформация определяется из выражения

$$\epsilon_{\text{пл.э}} = \frac{0,9}{\Sigma F \cdot E'_{\text{к}}} [S(t^{0,163} + 1) - S_{\text{в}}]. \quad (18)$$

В работе подъемной установки возможны экстренные нагрузки, при которых канат получает дополнительное удлинение

$$\epsilon_{\text{пл.экс}} = \frac{S_{\text{экс}} - S}{\Sigma F} \left(\frac{1}{E'_{\text{к}}} - \frac{1}{E_{\text{к}}} \right). \quad (19)$$

Если канат был предварительно вытянут силой, превышающей величину эксплуатационного растягивающего усилия, то величина относительной экстренной пластической деформации каната составит

$$\epsilon_{\text{пл.экс}} = \frac{S_{\text{экс}} - S_{\text{в}}}{\Sigma F} \left(\frac{1}{E'_{\text{к}}} - \frac{1}{E_{\text{к}}} \right). \quad (20)$$

Для определения величины относительной экстренной деформации каната необходимо, очевидно, знать величину экстренного усилия,

которое в некоторых случаях может быть определено расчетным путем, например при срабатывании предохранительного тормоза.

Правилами безопасности [4, стр. 152, § 828] величина экстренного удлинения каната ограничена значением 0,5% от длины участка каната, участвовавшего в экстренном напряжении. По нашему мнению, это указание не имеет достаточного обоснования. В одних случаях величина 0,5% будет чрезмерной, например, для канатов, проработавших продолжительное время, в других случаях она окажется заниженной, например для недавно навешенных канатов.

Согласно рис. 2 каждой величине общей относительной деформации каната соответствует определенное значение приведенного напряжения

$$\sigma_{\text{пр}} = \varepsilon \cdot E'_k. \quad (21)$$

Значение величины общей относительной деформации каната

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{пл.п}} + \varepsilon_{\text{пл.э}} + \varepsilon_{\text{пл.экс}} + \varepsilon_y. \quad (22)$$

При определении максимального значения приведенного напряжения величину относительной упругой деформации каната необходимо принимать наибольшей

$$\varepsilon_y = \frac{S}{\Sigma F E_k}. \quad (23)$$

Если ввести понятие приведенного запаса прочности каната

$$n_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{\text{пч}}}{\sigma_{\text{пр}}} \quad (24)$$

и величину его для конкретных условий указать в Правилах безопасности, то критерием прочности каната можно будет считать его общую относительную деформацию

$$\varepsilon \ll \frac{\sigma_{\text{пч}}}{n_{\text{пр}} \cdot E'_k}. \quad (25)$$

Выводы

При определении упругой и пластической деформации каната необходимо прежде всего учитывать величины, характеризующие конструкцию каната, а также технические и эксплуатационные показатели установки.

Общая относительная деформация каната характеризует его напряжение и работоспособность. При введении контроля прочности каната по его общей относительной деформации необходимо тщательно учитывать удлинение каната в процессе эксплуатации. Для этой цели в книге о состоянии канатов нужно регистрировать величины начального пластического удлинения, экстренного удлинения и т. д.

Приведенные формулы могут быть использованы для определения длины навешиваемого каната, при решении вопросов регулирования длины каната и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безухов Н. И. Теория упругости и пластичности. Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1953.
 2. Правицкий Н. К. Рудничные подъемные установки. Металлургиздат, 1956.
 3. Флоринский Ф. В. Динамика шахтного подъемного каната. Углетехиздат, 1955.
 4. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Углетехиздат, 1959.
-

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка или формула	Напечатано	Должно быть
5	формула (8)	d	g
80	13 стр. снизу	творце	торце
85	формула (1)	$+\frac{100}{\gamma_m}(f_m - t_k)$	$+\frac{100}{\gamma_m}(f_m + t_k)$