

РАСЧЕТ УСИЛИЯ НАТЯЖЕНИЯ КАБЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ В ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ НАКЛОННОЙ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ

Как известно, в кабельных линиях непрерывной вулканизации (ЛКНВ) совмещается несколько технологических операций. Среди этих операций основными являются наложение изоляции (оболочки) из сшиваемого полиэтилена или резины методом экструзии на токопроводящую жилу (или сердечник кабеля) и последующая вулканизация.

Все ЛКНВ подразделяются на горизонтальные, наклонные и вертикальные. При вулканизации изоляции и оболочек кабелей большого диаметра провисание кабельного изделия за счет собственной массы может достигать такого значения, что поверхность вулканизируемого покрытия будет соприкасаться с внутренней поверхностью вулканизационной камеры. В результате могут образовываться поверхностные дефекты, так называемые «зализы», а в случае наложения резинового покрытия может наблюдаться эксцентричность покрытия. Поэтому в таком случае вместо горизонтальных ЛКНВ используются наклонные линии, в которых вулканизационная камера имеет форму цепной линии, по которой внутри камеры кабельное изделие располагается под действием собственной массы. В наклонных ЛКНВ допустимая масса кабельного изделия, приходящаяся на единицу его длины, для данной линии ограничивается величиной натяжения кабельного изделия в камере. Поэтому определение величины допустимого натяжения кабельного изделия в вулканизационной камере имеет важное значение.

Зная параметры ЛКНВ и кабельного изделия, на которое накладывается покрытие, можно рассчитать необходимое натяжение кабельного изделия в вулканизационной камере, обеспечивающее отсутствие соприкосновения изделия со стенками вулканизационной камеры.

В процессе вулканизации кабельное изделие располагается по кривой, описываемой уравнением цепной линии (рисунок).

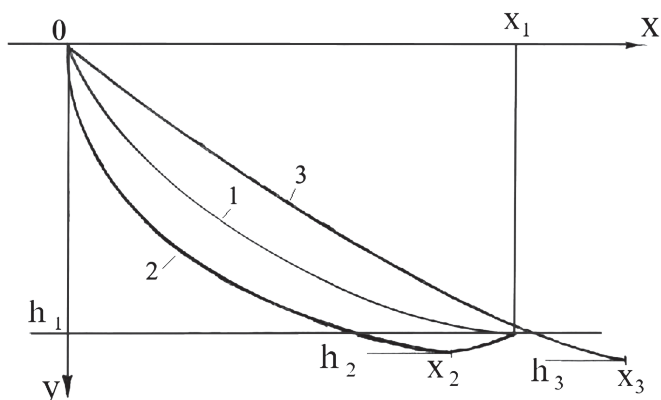


Рис. Форма цепной линии:

1 – при оптимальном натяжении; 2 – при недостаточном натяжении; 3 – при избыточном натяжении

В качестве нулевого уровня на рисунке примем место расположения головки экструдера. Тогда уравнение цепной линии выглядит следующим образом:

$$y = [ch(k_1 x_1) - ch(k_1(x_1 - x))]/k_1, \quad (1)$$

где k_1 – параметр линии, $1/m$; x, y – координаты; x_1 – расстояние по горизонтали от головки экструдера до точки расположения затвора вулканизационной трубы; $ch(k_1 x_1)$ – гиперболический косинус.

$$y' = dy/dx = sh(k_1(x_1 - x)), \quad (2)$$

где $sh(k_1(x_1 - x))$ – гиперболический синус.

В точке $x = x_1$ находится минимум для линии 1 на рисунке. В этой точке линия имеет горизонтальное направление. В этой точке находится максимальная стрела провеса h_1 .

$$h_1 = [ch(k_1 x_1) - 1]/k_1 \quad (3)$$

Точка x_1 соответствует расстоянию по горизонтали между головкой пресса и точкой расположения затвора в трубе, а h_1 – высота расположения головки пресса над затвором.

Для обеспечения заданных x_1 и h_1 необходимо усилие натяжения T , приложенное в точке x_1 .

$$T_{x1} = mg/k_1, T_{y1} = T_{x1} sh(k_1(x_1 - x)), T = T_{x1} ch(k_1(x_1 - x)), \quad (4)$$

где m – масса единицы длины кабеля, $кг/м$; g – ускорение свободного падения ($9,81 м/с^2$); T_{x1}, T_{y1} – усилия натяжения вдоль осей x и y , H соответственно.

Максимальное натяжение T_m будет около головки экструдера. T_m составит:

$$T_m = (mg/k_1) ch(k_1 x_1) \quad (5)$$

Натяжение кабеля определяется натяжением в затворе T_{x1} при $x = x_1$, тогда величину $k_1 x_1$ определим из уравнения (6) (приближенными методами)

$$h_1/x_1 = [ch(k_1 x_1) - 1]/(k_1 x_1) \quad (6)$$

Параметр линии $k_1 = (k_1 x_1)/x_1$.

По (4) и известному значению k_1 получим необходимое натяжение T_{x1} в затворе трубы. Угол Θ наклона кабеля от горизонтали около головки пресса определим из равенства $tg \Theta = sh(k_1 x_1)$

В процессе работы ЛКНВ усилие натяжения T_{x1} может отклоняться от оптимального значения, тогда уравнение линии (1) изменяется и возможно соприкосновение кабеля со стенками трубы. При этом значения h_1 и x_1 остаются преж-

ними, но величина стрелы провеса изменяется и ее расположение смещается вдоль оси X ($x = x_2$) – при недостаточном натяжении, $x = x_3$ – при избыточном натяжении).

Если усилие $T_{x2} < T_{x1}$, то получим линию 2 на рисунке. Если $T_{x3} > T_{x1}$, то получим линию 3. При этом в уравнении (1) вместо k_1, x_1 будут соответственно указаны коэффициенты k_2, x_2 или k_3, x_3 .

Рассмотрим случай $T_{x2} < T_{x1}$. Для точки $x = x_1$ запишем

$$h_1 = [ch(k_2 x_2) - ch(k_2(x_2 - x_1))]/k_2. \quad (7)$$

Максимальная стрела провеса h_2 будет составлять при $x = x_2$

$$h_2 = (ch(k_2 x_2) - 1)/k_2. \quad (8)$$

Для расчета h_2 необходимо определить k_2 и x_2

$$k_2 = mg/T_{x2}. \quad (9)$$

Из (7) определим $k_2 x_2$. После алгебраических преобразований получим

$$k_2 x_2 = (k_2 x_2)/2 + \operatorname{arcsch}((h_1 k_2)/2 \operatorname{sh}((k_2 x_1)/2)). \quad (10)$$

Подставим $k_2 x_2$ и k_2 в (8) и получим h_2 . Разность $h_2 - h_1$ не должна быть больше расстояния от поверхности кабеля до стенки трубы.

Рассмотрим случай $T_{x3} > T_{x1}$. Вместо (1), (7), (9) получим

$$h_1 = [ch(k_3 x_3) - ch(k_3(x_3 - x_2))]/k_3 \quad (11)$$

$$k_3 = mg/T_{x3}. \quad (12)$$

Величину $k_3 x_3$ получим по уравнению, аналогичному (10), в котором вместо k_2 и x_2 подставляем k_3 и x_3 .

После исследования на экстремум разности уравнений (1) для прогибов $y = y_1$ и $y = y_3$ получим максимум смещения между y_1 и y_3 при $x = x_m$:

$$x_m = (k_3 x_3 - k_1 x_1)/(k_3 - k_1) \quad (13)$$

Подставим x_m в уравнение (1). Тогда получим:

$$y_{1m} = [ch(k_1 x_1) - ch(k_1(x_1 - x_m))]/k_1 \quad (14)$$

$$y_{3m} = [ch(k_3 x_3) - ch(k_3(x_3 - x_m))]/k_2 \quad (15)$$

Разность $y_{1m} - y_{3m}$ не должна быть больше расстояния от поверхности кабеля до стенки трубы.

В качестве примера приведем расчет для ЛКНВ с параметрами: $h_1 = 4,8$ м; $x_1 = 61,81$ м, диаметр вулканизационной трубы $d_{\text{вулк}} = 0,1$ м; изолируемая жила кабеля марки КГ 1 × 150, масса изолируемой жилы $m = 1,65$ кг/м; диаметр по изоляции $d_{\text{из}} = 21$ мм.

Отношение $h_1/x_1 = 0,078$.

По уравнению (6) приближенными методами вычисляем $k_1 x_1$:

$$\frac{h_1}{x_1} = \frac{ch(k_1 x_1)}{k_1 x_1}$$

$$0,078 = \frac{ch(k_1 x_1)}{k_1 x_1} \rightarrow k_1 = 0,00251$$

По формуле (4) получим T_{x1} :

$$T_{x1} = \frac{1,65 \cdot 9,81}{0,00251} = 6448,8 \text{ Н}$$

Максимальное натяжение T_m около головки пресса получим по (5):

$$T_m = \frac{1,65 \cdot 9,81}{0,00251} \cdot ch(0,00251 \cdot 61,81) = 6526,4 \text{ Н}$$

Предположим, что натяжение в точке x_1 может колебаться в пределах $\pm 10\%$, то есть: $T_{x2} = 5803,92$ Н, $T_{x3} = 7093,68$ Н

$$1) T_{x2} = 5803,92 \text{ Н}$$

Определяем по (9) k_2 :

$$k_2 = \frac{mg}{T_{x2}} = \frac{1,65 \cdot 9,81}{5803,92} = 0,0028$$

По (10) определим $k_2 x_2$:

$$k_2 x_2 = \frac{0,0028 \cdot 61,81}{2} + \operatorname{arcsch} \left(\frac{4,8 \cdot 0,0028}{2 \operatorname{sh} \left(\frac{0,0028 \cdot 61,81}{2} \right)} \right) = 0,1643$$

Отсюда $x_2 = 58,66$ м

Максимальная стрела провеса изолируемой жилы при $x = x_2$:

$$h_2 = \frac{(ch(k_2 x_2) - 1)}{k_2} = \frac{0,013478}{0,0028} = 4,81 \text{ м}$$

Разность $h_2 - h_1 = 0,01$ м

$$2) T_{x3} = 7093,68 \text{ Н}$$

Определяем по (9) k_3 :

$$k_3 = \frac{mg}{T_{x3}} = \frac{1,65 \cdot 9,81}{7093,68} = 0,00228$$

По (10) определим $k_3 x_3$:

$$k_3 x_3 = \frac{0,00228 \cdot 61,81}{2} + \operatorname{arcsch} \left(\frac{4,8 \cdot 0,00228}{2 \operatorname{sh} \left(\frac{0,00228 \cdot 61,81}{2} \right)} \right) = 0,14792$$

Отсюда $x_3 = 64,88$ м

Рассчитаем по (13) x_m :

$$x_m = \frac{k_3 x_3 - k_1 x_1}{k_3 - k_1} = \frac{0,14792 - 0,15514}{0,00228 - 0,00251} = 31,4 \text{ м}$$

Далее по (14) и (15) определим y_{1m} и y_{2m} :

$$y_{1m} = \frac{ch(k_1 x_1) - ch(k_1(x_1 - x_m))}{k_1} = \frac{1,01206 - 1,00291}{0,00251} = 3,645 \text{ м}$$

$$y_{3m} = \frac{ch(k_3 x_3) - ch(k_3(x_3 - x_m))}{k_3} = \frac{1,010957 - 1,002914}{0,00228} = 3,527 \text{ м}$$

Разность $y_{1m} - y_{3m} = 0,118$ м.

Видно, что при заданных параметрах ЛКНВ превышение натяжения на 10% вызывает соприкосновения поверхности изолируемого изделия со стенками вулканизационной камеры.

Таким образом, в настоящей статье предложены методики расчета оптимального усилия натяжения кабельного изделия в трубе наклонного ЛКНВ и отклонения расположения кабельного изделия от оптимальной цепной линии при отклонении усилия натяжения от оптимального значения.

Литература

1. Зельдович Я.Б., Мышкин А.Д. Элементы прикладной математики. – М.: – Наука, 1967. – 480 с.