

УДК 539.3

ОЦЕНКА КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

© 2011 г.

Г.М. Исмаилов

Томский государственный педагогический университет

gmismailov@rambler.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассмотрены вопросы контактного взаимодействия элементов конструкции кабеля. Получены формулы для определения контактных и касательных напряжений, зависящих от механических свойств материала и геометрических параметров кабеля.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, трибологические характеристики, сдвиги, токопроводящая жила, шаг скрутки кабеля, контактные и касательные напряжения.

В исследованиях по механике кабелей рассмотрены вопросы прочности кабелей при растяжении, кручении и изгибе. Также определена связь сдвигов элементов кабеля от геометрических параметров самого кабеля и его элементов. Были попытки найти взаимосвязь сдвигов элементов кабеля от напряжений, возникающих в местах соприкосновения элементов. Исследования, в основном, носили экспериментально-теоретический характер.

Актуальными вопросами механики кабелей являются вопросы о механизме фрикционного взаимодействия элементов конструкции кабеля при изгибе и об определении сжимающих усилий и напряжений в готовом изделии. Именно определением прочностных характеристик можно добиться требуемой работоспособности и долговечности при создании кабелей на стадии проектирования.

Предположим, что элемент кабеля намотан (скручен) на цилиндр с радиусом r . В этом случае в соответствии с формулой Эйлера [1] можно найти силу трения между элементами:

$$F_{\text{тр}} = Q_2 - Q_1, \quad (1)$$

где Q_1, Q_2 – силы натяжения на концах нити. Зависимость между силами натяжения имеет вид:

$$Q_2 = Q_1 e^{f\beta}, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения; β – угол охвата.

В кабелях радиус винтового канала можно рассмотреть как цилиндр с радиусом r . Поэтому угол охвата эквивалентен угловой координате элементов кабеля φ . Тогда:

$$\beta = \varphi = \frac{2\pi l}{H}, \quad (3)$$

где H – шаг скрутки кабеля, l – длина кабеля.

После несложных преобразований получим

формулу для определения коэффициента трения f контактируемых элементов кабеля:

$$f = \frac{H}{2\pi l} \ln \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (4)$$

где Q_2 – величина измеряемого усилия; Q_1 – задаваемая величина усилия (груза).

Формула (4) позволяет экспериментально определять коэффициент трения в готовом кабеле при проведении эксперимента по выдерживанию отдельных элементов.

Сила трения определяется как

$$F_{\text{тр}} = fN, \quad (5)$$

где N – нормальная нагрузка.

С другой стороны, силу трения и нормальную нагрузку с использованием формулы Эйлера и для элемента кабеля представляем в виде

$$F_{\text{тр}} = Q_1 (e^{f2\pi l/H} - 1). \quad (6)$$

Для определения касательных напряжений по площадкам контакта делим обе части формулы (5) на площадь касания, тогда получается:

$$\tau = f\sigma_H, \quad (7)$$

где τ, σ_H – касательные и контактные напряжения.

Формулу Герца для определения контактных напряжений для пары цилиндр–цилиндр можно применять и для кабельной конструкции.

Тогда приведенные модули упругости для пары оболочка–ТПЖ:

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}, \quad (8)$$

где E_1, E_2 – модули упругости материала токопроводящей жилы и оболочки кабеля.

Приведенный модуль упругости при контакте токопроводящая жила–токопроводящая жила равен модулю упругости композитного материала

ла, состоящего из меди и изоляционного материала оболочки ТПЖ (резина, поливинилхлорид пластикат) $E_{\text{пр}} = E_1$.

Приведенные радиусы кривизны при контакте ТПЖ с оболочкой и ТПЖ–ТПЖ

$$\frac{1}{\rho_{\text{пр}}} = \frac{R-r}{Rr}, \quad \frac{1}{\rho_{\text{пр}}} = \frac{2}{r}, \quad (9)$$

где R, r – радиусы оболочки и ТПЖ кабеля.

Так как длина контактной линии одинакова в обоих случаях контакта, удельная нагрузка равна:

$$q = \frac{N \cos \alpha}{l}, \quad (10)$$

где α – угол скрутки кабеля.

Подставив полученные значения в формулу Герца, получим соотношения для определения напряжений для пары токопроводящая жила–токопроводящая жила:

$$\sigma_{H1} = 0.418 \sqrt{\frac{E_1 r \cos \alpha}{2lf} Q_1 (e^{f2\pi l/H} - 1)} \quad (11)$$

и для пары оболочка–токопроводящая жила:

$$\sigma_{H2} = 0.418 \sqrt{\frac{(R-r) \cos \alpha}{lfRr} E_{\text{пр}} Q_1 (e^{f2\pi l/H} - 1)}. \quad (12)$$

Касательные напряжения определяются по формулам:

$$\tau_1 = 0.418 \sqrt{\frac{rf \cos \alpha}{2l} E_1 Q_1 (e^{f2\pi l/H} - 1)}, \quad (13)$$

$$\tau_2 =$$

$$= 0.418 \sqrt{\frac{(R-r) f \cos \alpha}{lRr} \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} Q_1 (e^{f2\pi l/H} - 1)}. \quad (14)$$

На основании полученных формул (11)–(14) можно отметить, что касательные и контактные напряжения в кабелях зависят от материала элементов, коэффициента трения и геометрических параметров: угла скрутки, радиусов элементов, шага скрутки и длины зоны деформации кабеля.

Из формул (11)–(14) видно, что при угле скрутки $\alpha = 0$ напряжения имеют максимальные значения, а при $\alpha = 90^\circ$ напряжения равны нулю. В действительности угол скрутки для кабелей колеблется от 10 до 70° .

Полученные соотношения позволяют оценить расчетные значения напряжения и сравнить их с допускаемыми значениями. Это является основной предпосылкой прогнозирования работоспособности и обеспечения механической прочности [2] с учетом контактного взаимодействия элементов конструкции кабеля.

Список литературы

1. Крагельский И.В., Щедров В.С. Развитие науки о трении. М.: Изд. АН СССР, 1956. 235 с.
2. Мусалимов В.М., Исмаилов Г.М., Соханев Б.В. Методы определения характеристик вязкого трения элементов кабельных конструкций // Вестник ТГПУ. 2006. Т. 57, №6. С. 33–37.

EVALUATING THE CONTACT STRESSES IN CABLE STRUCTURES

G.M. Ismailov

The problems of contact interaction of structural elements of cables are considered. Formulas for evaluating contact and tangential stresses depending on the mechanical properties of the material and geometric parameters of the cable were obtained.

Keywords: contact interaction, tribology characteristics, displacements, lead of a cable, lay of a strand, contact and tangential stresses.