

И.А. Соколов, канд. техн. наук, генеральный директор;
Д.М. Инденбаум, директор по производству;
С.М. Вилков, д-р техн. наук, технический эксперт;
С.В. Сироткин, ст. инженер-технолог
 ООО «Оптен-Кабель»

О ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ, АРМИРОВАННЫХ СИЛОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

При конструировании ряда марок оптических кабелей приходится оценивать величину растягивающей нагрузки, воспринимаемой армирующими силовыми элементами (стальная проволока, высокомодульные нити и т.п.). Наибольший интерес представляет случай, когда n силовых элементов кабеля с площадью поперечного сечения S_s и модулем нормальной упругости E_s каждый навиты по спирали с углом скрутки α на сердечник радиусом r_0 .

Анализ литературы показывает, что растягивающее усилие для одного силового элемента кабеля, навитого по спирали T_s , определяется простыми зависимостями [1, 2, 3, 4]:

$$T_s = \varepsilon_c E_s S_s \quad (1)$$

или

$$T_s = \varepsilon_c \cos \alpha E_s S_s, \quad (2)$$

где ε_c – относительное удлинение кабеля.

Однако эксперименты на растяжение кабелей, сконструированных на основе этих зависимостей, показывают, что при заданном уровне растягивающих усилий относительное удлинение кабеля ε_c оказывается выше расчетного.

Такая погрешность, на наш взгляд, возникает прежде всего из-за недооценки влияния угла скрутки α .

Приведем более точные зависимости для T_s на основе соотношений нелинейной теории расчета короткозамкнутых кабелей. Выпишем выражение для T_s таких кабелей, полученное в работе Э.А. Шахназаряна [5] на основе нелинейных соотношений:

$$T_s = A_c \cos \alpha \left\{ 1 - \left[A_c^2 \cos^2 \alpha + A_r^2 A_0^2 \right]^{1/2} \right\} E_s S_s, \quad (3)$$

$$\text{где } A_c = 1 + \varepsilon_c, \quad A_r = 1 + \varepsilon_r, \\ A_0 = \sin \alpha + \theta r_0 \cos \alpha,$$

ε_r – поперечное сужение сердечника кабеля,
 θ – кручение оси кабеля.

Если в выражении (3) пренебречь членами, содержащими квадраты деформаций, то после разложения в ряд по степеням деформаций и некоторых преобразований вместо (3) будем иметь:

$$T_s = (1 + \varepsilon_c) \cos \alpha \frac{B}{1 + B} E_s S_s, \quad (4)$$

где $B = \varepsilon_c \cos^2 \alpha + \varepsilon_r \sin^2 \alpha + \theta r_0 \cos \alpha \sin \alpha$.

Анализ слагаемых в выражении (4) показывает, что для реальных значений допустимых удлинений оптического кабеля ($\varepsilon_c \leq 1\%$) и углов скрутки ($5^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$) членами, учитывающими сужение и кручение по сравнению с удлинением, можно пренебречь. Отсюда в итоге будем иметь:

$$T_s = \frac{\varepsilon_c (1 + \varepsilon_c) \cos^3 \alpha}{1 + \varepsilon_c \cos^2 \alpha} E_s S_s \approx \varepsilon_c \cos^3 \alpha E_s S_s. \quad (5)$$

Оценим относительную погрешность δ от замены «точного» значения усилия по формуле (5) формулами (1) – $\delta_{(1)}$ и (2) – $\delta_{(2)}$.

Эти погрешности зависят от угла скрутки и определяются выражениями (рисунок):

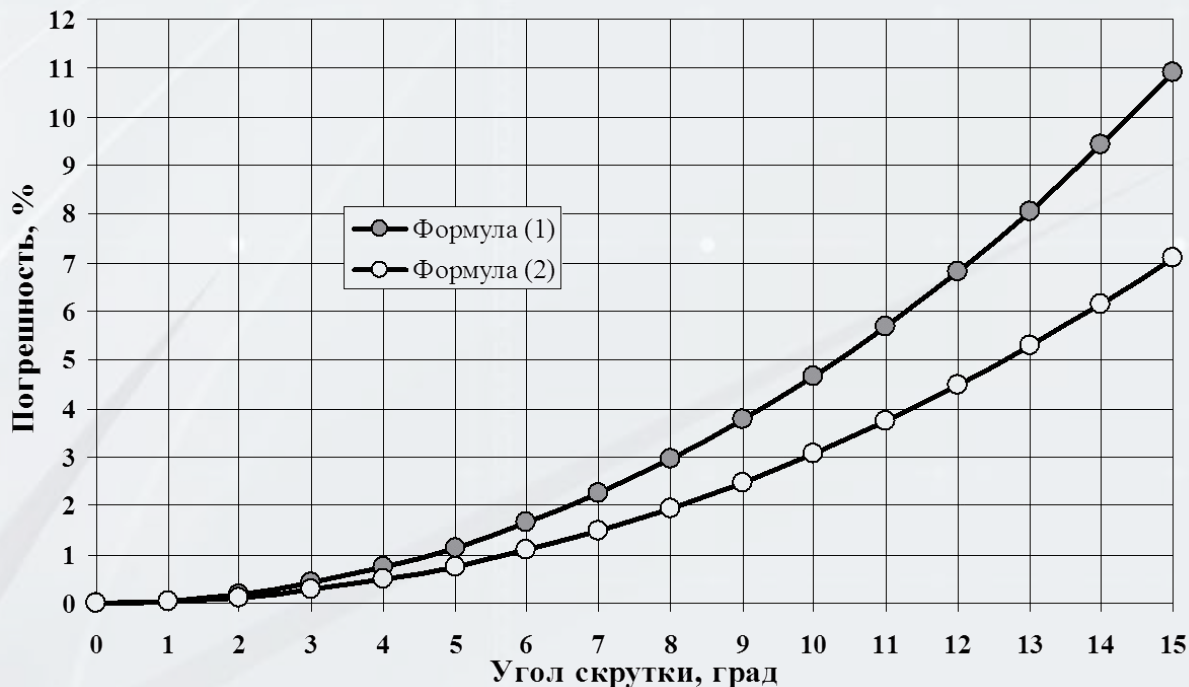
$$\delta_{(1)} = \frac{1}{\cos^3 \alpha} - 1$$

и

$$\delta_{(2)} = \tan^2 \alpha.$$

Из рисунка видно, что погрешность для типовых углов скрутки α находится в диапазоне $\delta_{(1)} = 1 \div 11\%$,

Относительная погрешность от замены «точной» формулы (5) приближенными



а $\delta_{(2)} = 1 \div 7 \%$. При этом ошибка приводит к переоценке вклада армирующих элементов.

Таким образом, для оценки растягивающего усилия всего кабеля T , бронированного повивом из n армирующих элементов, можно записать:

$$T = \varepsilon_c \left[\sum_{j=1}^N E_j S_j + n E_s S_s \cos^3 \alpha \right], \quad (6)$$

где E_j, S_j – модуль Юнга и площадь поперечного сечения j -го из N несущих элементов кабеля, расположенных вдоль его оси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурадян А.Г., Гольдфарб И.С., Иноземцев В.П. Оптические кабели многоканальных линий связи. М.: Радио и связь, 1987. 200 с.
2. Мальке Г., Гёссинг П. Волоконно-оптические кабели. Основы, проектирование кабелей, планирование систем / Пер. с нем. 2-е изд. Новосибирск: ООО «Издательский дом «Вояж», 2001. 352 с.
3. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические линии связи. М.: Эко-Трендз, 2002. 283 с.
4. Бондаренко О.В., Иоргачев Д.В., Мурадян Л.Л. Выбор конструкции самонесущего оптического кабеля по растягивающим нагрузкам // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2001. № 1. С. 18–21.
5. Шахназарян Э.А. Об уравнениях нелинейной теории расчета кабель-канатов // Стальные канаты: Сб. Киев: Техника, 1969. Вып. 6. С. 112–115.



Статус СИ
(многоканальный)

На рынке с 1991 года

Склады в Москве

www.stnd.ru
info@stnd.ru

Кабель

- силовой
- сигнально-блокировочный
- контрольный
- связи
- и многое другое

(3000 наименований)



Электротехника

- аппараты защиты
- переключатели
- для монтажа электропроводки
- электрощитовое оборудование
- осветительное оборудование
- и многое другое

