

УДК 621.315.176

**МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ГИБКИХ ПРОВОДНИКОВ. РАСЧЕТ  
КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ ПРИ ОТСУТСТВИИ  
СОСРЕДОТОЧЕННЫХ СИЛ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Гецман Е.М.

Определение стрел провеса и тяжений в различных климатических режимах является задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств и воздушных линий. Проектирование распределительных устройств с уменьшенными габаритами и компактных воздушных линий является проблемой современной электроэнергетики. Это увеличивает требования к их расчету, обеспечению в любой точке пролета необходимых по Правилам устройства электроустановок минимальных расстояний до различных объектов при различных видах нагрузок, взятых при проектировании (ветер, гололёд и др.). В механическом расчете гибких проводов распределенной по пролету нагрузкой заменяются сосредоточенные нагрузки от распорок, гирлянд изоляторов, заградительных шаров, шлейфов, отпаяк к электрическим аппаратам и других элементов [1].

Провод с равномерно распределенной нагрузкой в приближенных методах рассматривается как однородная гибкая нить, имеющая внешний вид параболы. Расчет этой нити выполняется по уравнению состояния, вывод которого определяется из сравнения длин нити при разном нагружении и разных климатических условиях [1].

Провод с несколькими разными видами нагрузок должен быть рассмотрен как комбинированная, то есть неоднородная гибкая нить, не являющаяся плавной параболой по всему пролету. Плавность параболы нарушается и в местах приложения равномерно распределенных нагрузок различной интенсивности, и в местах примыкания сосредоточенных сил. При одновременном действии разных нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях (поперечном горизонтальном и вертикальном) получается более сложный вид кривой провисания провода. В этих случаях длина неоднородной нити должна быть определена в виде суммы длин разных участков, на которых сохраняется вид параболы (или сохраняется, допустим, при нагрузке от действия ветра).

По методике [1] уравнение состояния провода ничем не отличается от обычного уравнения состояния, по которому рассчитываются провода воздушных линий с равномерно распределенными нагрузками.

Чтобы уравнение можно было применить для неоднородной нити, ее заменяют эквивалентной однородной нитью, что производится путем введения эквивалентной равно распределенной нагрузки по длине пролета. Эквивалентная нагрузка устанавливается из условия равенства длины однородной нити с равномерно распределенной эквивалентной нагрузкой длине комбинированной нити с распределенными нагрузками разной интенсивности и обобщенно длине нити со сосредоточенными нагрузками разной величины, приложенными в различных местах пролета.

С помощью интегрирования дифференциального уравнения нити по участкам определяется длина комбинированной нити. Переходный коэффициент  $K$  (коэффициент нагрузки) устанавливается для перехода от комбинированной нити к приведенной однородной при всякой схеме загрузки пролета. Эквивалентная нагрузка определяется как произведение равномерно распределенной нагрузки для этого провода на коэффициент нагрузки.

Длина эквивалентного провода (системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов») определяется [1]

$$L = l + \frac{q^2 l^2 l_1 K^2}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2},$$

$l$ - длина пролета;

$H$ - тяжение в проводе (горизонтальная составляющая);

$q$ - погонный вес проводов фазы (если фаза не имеет расщепления, то просто вес 1 м провода);

где  $K$ - коэффициент нагрузки, учитывающий конструктивные элементы для различных климатических нагрузок

$$K^2 = \frac{12D}{q^2 l^2 l_1},$$

$D$ – интеграл

$$D = \int_0^l Q^2(x) dx;$$

$Q(x)$  – балочная поперечная сила;

$x, y$  – координаты провода.

Для рисунка 1 интеграл  $D$  определяется как

$$D = \int_0^{l_{r1}} Q_1^2(x) dx + \int_{l_{r1}}^{l-l_{r2}} Q_2^2(x) dx + \int_{l-l_{r2}}^l Q_3^2(x) dx$$

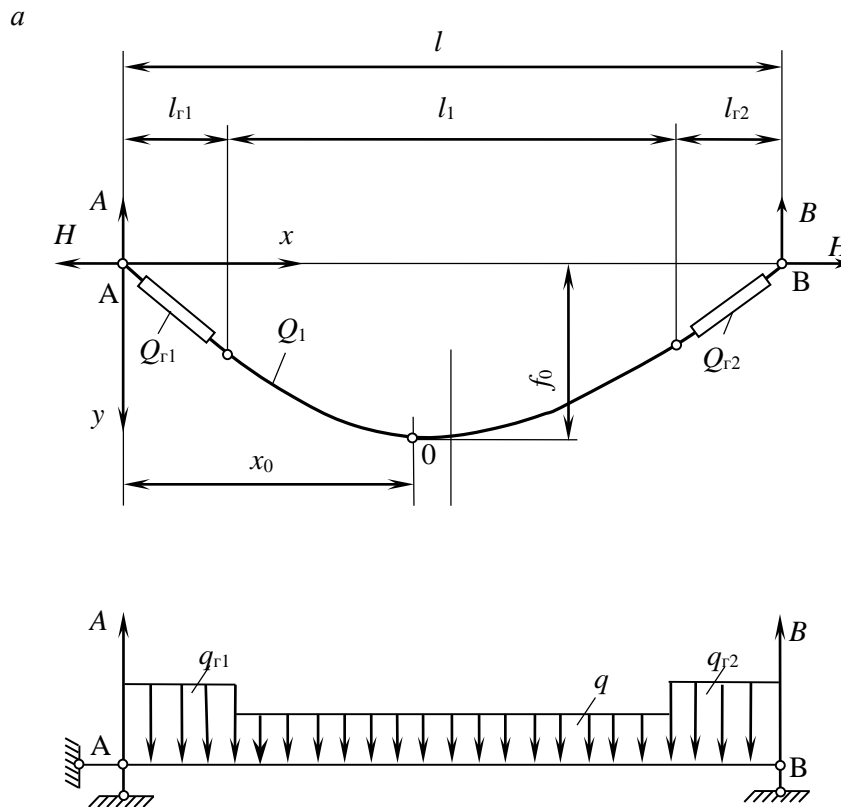


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета:

- а) пролет с нагрузками от провода  $q$ , гирлянд изоляторов  $q_{r1}$  и  $q_{r2}$ ;
- б) пролет в виде простой балки с шарнирными опорами, загруженной так же

где  $Q_1(x)$ ,  $Q_2(x)$ ,  $Q_3(x)$  – балочные поперечные силы соответственно на первой гирлянде, проводе и второй гирлянде:

$$\begin{aligned}
 Q_1(x) &= A - q_{r1}x; \\
 Q_2(x) &= A - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1}); \\
 Q_3(x) &= A - q_{r1}l_{r1} - q(l - l_{r1} - l_{r2}) - q_{r2}(x - l + l_{r2}).
 \end{aligned}$$

$l_{r1}$ ,  $l_{r2}$  – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

где  $A$  – опорная балочная реакция;

Окончательно получаем коэффициент нагрузки при разных гирляндах

$$\begin{aligned}
 K^2 = \frac{1}{l_1} \left[ l + \frac{8(l_{r1}^3 + l_{r2}^3)}{l^2} - \frac{6(l_{r1}^2 + l_{r2}^2)}{l} - \frac{3c^2}{l^3} \right] + \frac{6}{ql^2 l_1} \left[ q_{r1} l_{r1}^2 (l - 2l_{r1}) + q_{r2} l_{r2}^2 (l - 2l_{r2}) + \frac{cd}{l} \right] + \\
 + \frac{1}{q^2 l^2 l_1} \left[ 4q_{r1}^2 l_{r1}^3 + 4q_{r2}^2 l_{r2}^3 - \frac{3d^2}{l} \right].
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2$ ;  $d = q_{r1} l_{r1}^2 - q_{r2} l_{r2}^2$ .

Коэффициент нагрузки при одинаковых гирляндах ( $q_{г1} = q_{г2} = q_{г}$ ;  $l_{г1} = l_{г2} = l_{г}$ ) совпадает с формулой [1]

$$K^2 = \frac{l_1(l + 4l_{г})}{l^2} + \frac{12q_{г}l_{г}^2}{q^2l^2l_1} \left( ql_1 + \frac{2}{3}q_{г}l_{г} \right)$$

При отсутствии гирлянд в пролете ( $l_{г1} = l_{г2} = 0$ ) коэффициент нагрузки  $K = 1$ .

Полученные коэффициенты позволяют определить для всех режимов эквивалентные погонные и удельные нагрузки, после чего составляется уравнение состояния, позволяющее определить напряжение в проводе в любом режиме нагрузок, в том числе климатических. При этом учитываются упругие и температурные удлинения провода на длине  $l$  [2]. Полученное выражение (1) может применяться и для горизонтальных ветровых нагрузок, тогда уравнение состояния должно учитывать эту составляющую при расчете результирующей приведенной нагрузки на провод в наклонной плоскости [3].

#### Литература

1. Бошнякович, А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / А. Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1975. 248 с.
2. Качурин, В. К. Гибкие нити с малыми стрелками / В. К. Качурин. М.: Гостехиздат, 1956. 224 с.
3. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенных сил распределенной нагрузкой / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 2. С. 97-107.