

УДК 621.315.176

**УЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ
В МЕХАНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ГИБКИХ ПРОВОДОВ**

Никитин Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бладыко Ю.В.

Задачей механического расчета гибких проводов распределительных устройств (РУ) и воздушных линий (ВЛ) является определение тяжений и стрел провеса в различных климатических режимах. В [1] выведены формулы для кривой провисания провода при наличии одной или нескольких сосредоточенной сил и различных натяжных гирляндах изоляторов в пролете. Были получены формулы для нахождения расстояния до максимальной стрелы провеса. Выведены формулы расчета коэффициента нагрузки для решения уравнения состояния в случае разных гирлянд в пролете при одной и нескольких сосредоточенных силах. Для достоверности формул проведено сравнение и получено совпадение результатов для частного случая расположения гирлянд. Приводится алгоритм расчета стрел провеса при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок, а также в случае расположения точек подвеса провода на разных высотах. Предложена формула для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием сосредоточенных сил, равномерно распределенных вдоль пролета, и разных гирлянд изоляторов в пролете.

Цель статьи – определение коэффициентов для расчета стрел провеса и тяжений при горизонтальных сосредоточенных нагрузках. Они появляются при действии ветра на конструктивные элементы РУ и ВЛ: распорки, заградительные шары, спуски к электрическим аппаратам. При отсутствии ветра горизонтальные сосредоточенные нагрузки и, следовательно, отклонения возникают при некилевом расположении спусков.

Расчетная схема горизонтальной проекции пролета представлена на рис. 1.

На рис. 1 показано положительное направление скорости ветра V , совпадающее с направлением горизонтальной оси z . Ветровые нагрузки действуют на провод и гирлянды изоляторов с силой

$$Q_{z1} = q_z l_1; Q_{zr1} = q_{zr1} l_{r1}; Q_{zr2} = q_{zr2} l_{r2},$$

где q_z – погонная горизонтальная нагрузка проводов фазы;

q_{zr1} , q_{zr2} – погонная горизонтальная нагрузка первой и второй гирлянд изоляторов;

$$l_1 = l - l_{r1} - l_{r2};$$

l – длина пролета;

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

В горизонтальной плоскости действуют n сосредоточенных сил P_{zi} ($i = 1..n$) от распорок, заградительных шаров или спусков к электрическим аппаратам.

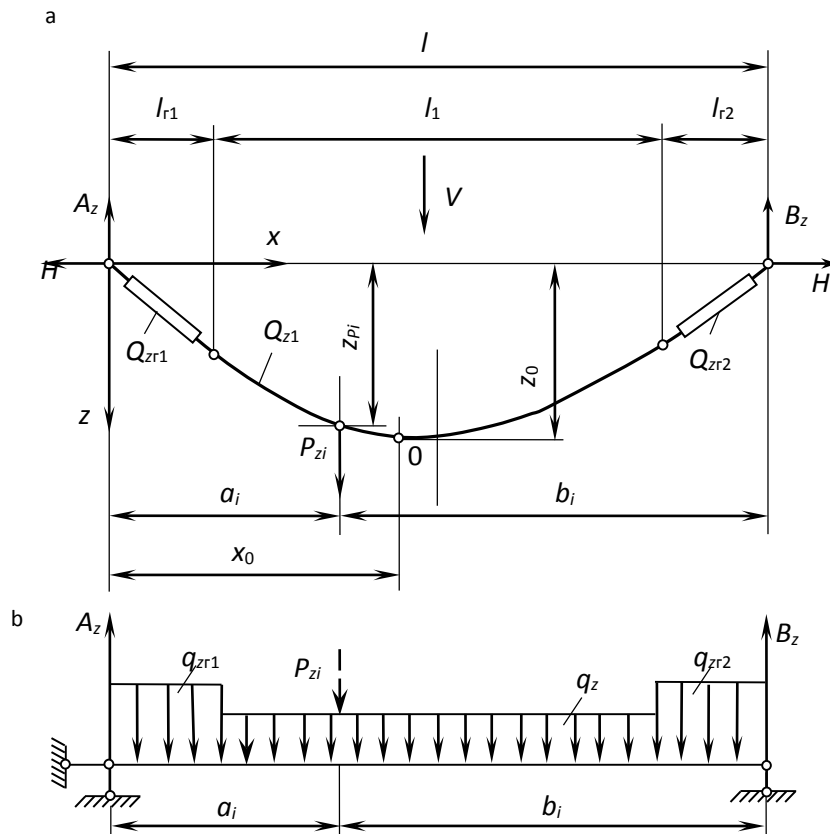


Рисунок 1 – Расчетная схема пролета:

- a – пролет с горизонтальными нагрузками от провода q_z , гирлянд изоляторов q_{zr1} , q_{zr2} и горизонтальными сосредоточенными силами P_{zi} ;
- b – пролет в виде простой разрезной балки с шарнирными опорами

Отклонение провода в двух плоскостях находится независимо друг от друга. Полученные в [1] выражения могут применяться независимо и для горизонтальных составляющих нагрузок. В [1] было получено выражение для оценки коэффициента увеличения стрелы провеса в вертикальной плоскости. Для горизонтальной плоскости при равномерно распределенных вдоль пролета одинаковых по величине и направлению сосредоточенных нагрузках коэффициент увеличения можно записать так:

$$K_{fz} = \frac{1 + 2\delta_{z1} + 2\delta_{z2} + (\delta_{z1} - \delta_{z2})^2 + K_{Pz}(1 + 1/n)}{\cos\theta},$$

где $\delta_{z1} = (K_{z1} - 1)K_{r1}^2$; $\delta_{z2} = (K_{z2} - 1)K_{r2}^2$ – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов при действии на них ветровой нагрузки;

$K_{z1} = \frac{q_{zr1}}{q_z}$; $K_{z2} = \frac{q_{zr2}}{q_z}$ – кратности горизонтальных погонных нагрузок первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно горизонтальной погонной нагрузки провода;

$K_{r1} = \frac{l_{r1} \cos \theta}{l}$; $K_{r2} = \frac{l_{r2} \cos \theta}{l}$ – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета;

$K_{Pz} = \frac{P_z \cos \theta}{q_z l}$ - коэффициент горизонтальных сосредоточенных сил;

$P_z = \sum_{i=1}^n P_{zi}$ – суммарная сила n горизонтальных сосредоточенных нагрузок;

θ – угол наклона пролета ($\text{tg} \theta = h/l$), h – разность высот подвеса проводов.

Максимальное горизонтальное отклонение в этом случае рассчитывается как

$$z_0 = \frac{q_z K_{fz} l^2}{8H}, \quad (1)$$

где K_{fz} – коэффициент увеличения горизонтального отклонения;

H – горизонтальная проекция тяжения в проводе.

Коэффициент увеличения отклонения, обусловленный наличием натяжных гирлянд и горизонтальных сосредоточенных сил, определяется по выражению:

$$K_{fz} = \frac{8Hz_0}{q_z l^2}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ($q_z = 0$) лучше пользоваться формулой нахождения произведения $q_z K_{fz}$:

$$q_z K_{fz} = \frac{8Hz_0}{l^2}. \quad (2)$$

Результирующая стрела провеса в наклонной плоскости рассчитывается после нахождения составляющих в обеих плоскостях [1].

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

$$L = l + \frac{l^2 l_1 [(q_y K_y)^2 + (q_z K_z)^2]}{24H^2} = l + \frac{D}{2H^2}, \quad (3)$$

где интеграл D рассчитывается как:

$$D = D_y + D_z; D_y = \frac{l^2 l_1 (q_y K_y)^2}{12}; D_z = \frac{l^2 l_1 (q_z K_z)^2}{12};$$

K_y, K_z – коэффициенты нагрузки, учитывающие конструктивные элементы для различных климатических нагрузок, определяемые для двух плоскостей как

$$K_y^2 = \frac{12D_y}{q_y^2 l^2 l_1}; K_z^2 = \frac{12D_z}{q_z^2 l^2 l_1}.$$

При отсутствии горизонтальных распределенных нагрузок ($q_z = q_{zr1} = q_{zr2} = 0$) лучше пользоваться формулой нахождения произведения $q_z K_z$:

$$q_z K_z = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{12D_z}{l_1}}. \quad (4)$$

При известных конфигурациях приложения распределенных и сосредоточенных сил интеграл определяется в общем виде по формулам

$$D_y = \int_0^l Q_y^2(x) dx, \quad D_z = \int_0^l Q_z^2(x) dx,$$

где $Q_y(x)$, $Q_z(x)$ – балочные поперечные силы в вертикальной и горизонтальных плоскостях.

Литература

1. Бладыко, Ю.В. Механический расчет гибких токопроводов с сосредоточенными нагрузками / Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 2. С. 103-115.