

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-55-65>

УДК 621.315.176

Механический расчет гибких токопроводов пролетов с разными натяжными гирляндами изоляторов

Ю. В. Бладыко¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2020
Belarusian National Technical University, 2020

Реферат. В проектной практике встречаются решения, когда в одном пролете используются различные натяжные гирлянды изоляторов. В работе приведен расчет стрел провеса и коэффициентов нагрузки для пролета с двумя разными натяжными гирляндами изоляторов при одинаковой высоте подвеса. Система «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов» описана уравнениями параболы. Установлена связь между коэффициентом увеличения стрелы провеса и коэффициентами, учитывающими наличие натяжных гирлянд изоляторов. Полученная компактная формула коэффициента увеличения стрелы провеса подходит в общем случае для любого сочетания гирлянд в пролете. Показано совпадение расчета для конкретных случаев, известных из литературных источников. Выведена формула расчета коэффициента нагрузки для уравнения состояния, учитывающая наличие разных гирлянд в пролете. Достоверность формулы доказана совпадением результатов для частных случаев расположения гирлянд. Полученные выражения могут применяться как для вертикальных (весовых и гололедных) нагрузок, так и для горизонтальных (ветровых). В случае действия нагрузок в двух плоскостях уравнение состояния должно учитывать все составляющие при расчете результирующей приведенной нагрузки на провод в наклонной плоскости. Выполнены расчеты для разных длин пролетов распределительных устройств с разными проводами и гирляндами изоляторов. Рассмотрен пролет с одной и двумя натяжными гирляндами изоляторов, с одинаковыми высотами подвеса, при отсутствии ветра и гололеда. Построены кривые провисания провода для разных гирлянд. Показано, что при расчете стрел провеса и тяжений нельзя пренебрегать различием гирлянд.

Ключевые слова: стрела провеса, тяжение, гибкая нить, гирлянды изоляторов, уравнение состояния, пролет, эквивалентный провод, коэффициент нагрузки

Для цитирования: Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов пролетов с разными натяжными гирляндами изоляторов / Ю. В. Бладыко // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2020. Т. 63, № 1. С. 55–65. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-55-65>

Mechanical Calculation of Flexible Wires of Spans with Different Tensioning Insulator Strings

Y. V. Bladyko¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. In design activities, technical solutions are practiced, which provide for the use of different tension strings of insulators in a single span. The present paper considers the calculation of the sag and load factors for a span with two different tensioning insulator strings that are

Адрес для переписки

Бладыко Юрий Витальевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел. +375 17 292-71-93
eie@bntu.by

Address for correspondence

Bladyko Yuri V.
Belarusian National Technical University
65/2 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Тел. +375 17 292-71-93
eie@bntu.by

of identical suspension heights. The system of “the first tension insulators string – the wire – the second tension insulators string” was described by the equations of a parabola. A relationship has been established between the sag increase factor and the coefficients that take into account the presence of tensioning insulators strings. The resulting compact formula for sag increase is generally suitable for any combination of strings in a span. The coincidence of the calculation is shown for particular cases known from the literature. The formula for calculating the load factor for the equation of state was derived, taking into account the presence of different strings in the span. The reliability of the formula has been proved by the coincidence of results for particular cases of the arrangement of strings. The obtained expressions can be used both for vertical (weight and ice) loads and for horizontal (wind) ones. In the case of loads in two planes, the equation of state must take into account all the components when calculating the resulting reduced load on the wire along the inclined plane. Calculations were performed for different lengths of spans of switchgear with different wires and strings of insulators. A span with one and two tensioning strings of insulators, with the same suspension heights, in the absence of wind and ice is considered. The curves of the sagging wires to different strings have been plotted. It is demonstrated that when calculating sags and tensions, the difference between strings must not be neglected.

Keywords: sag, tension, flexible string, insulator strings, equation of state, span, equivalent wire, load factor

For citation: Bladyko Y. V. (2020) Mechanical Calculation of Flexible Wires of Spans with Different Tensioning Insulator Strings. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 63 (1), 55–65 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-55-65>

Введение

Механический расчет гибких токопроводов распределительных устройств (РУ) и воздушных линий (ВЛ) сводится к расчету стрел провеса и тяжений проводов в различных климатических режимах. Провес проводов должен удовлетворять необходимым габаритам, а тяжение не превышать допустимых значений для провода и опор. Тяжения определяются при решении уравнения состояния, учитывающего изменение нагрузки на провод вследствие климатических воздействий и механических нагрузок. Для этого выведены коэффициенты нагрузки, учитываемые в решении уравнений состояния, при наличии одной или двух одинаковых натяжных гирлянд изоляторов, а также при их отсутствии [1]. Однако в проектной практике встречаются решения, когда в одном пролете используются различные гирлянды. Цель статьи – определение коэффициентов для расчета стрел провеса и тяжений при наличии в пролете разных гирлянд изоляторов.

В методике [1] для перехода от неоднородной нити, получающейся при представлении системы «первая натяжная гирлянда изоляторов – токопровод – вторая натяжная гирлянда изоляторов», к эквивалентной однородной при любой схеме загрузки пролета определяется переходный коэффициент нагрузки K . Для пролетов высокого напряжения применяют расщепление токопровода, в этом случае учитываются параметры эквивалентного провода фазы с распределением нагрузок от внутрифазных распорок. Приведенная нагрузка всей системы вычисляется как произведение величины равномерно распределенной нагрузки для проводов фазы на коэффициент нагрузки, учитывающий наличие гирлянд изоляторов, сосредоточенных нагрузок от шлейфов, отпаек, распорок, заградительных шаров [2–6].

При длинах пролета до 500–700 м уравнение цепной линии заменяют параболой, что не дает большую погрешность. В [4] проведены расчеты по существующим методикам, которые дали схожие результаты, наиболее близкие – в случае представления провода цепной линией и использования

двух слагаемых разложения в ряд при расчете стрел провеса. Представление провода параболой дает абсолютную погрешность в расчетах всего несколько сантиметров. Тяжение провода при наличии сосредоточенной нагрузки рассчитано по уравнению состояния и совпадает с результатами расчета по программе MR2.20 [7–11]. В [7] сделан вывод, что при известных значениях составляющих сосредоточенных сил можно пользоваться принятой в проектной практике моделью провода в виде параболы.

Стрела провеса (рис. 1) в любом месте пролета может быть определена по формуле

$$y = \frac{M(x)}{H}, \tag{1}$$

где $M(x)$ – балочный изгибающий момент в точке x ; H – горизонтальная проекция тяжения в проводе.

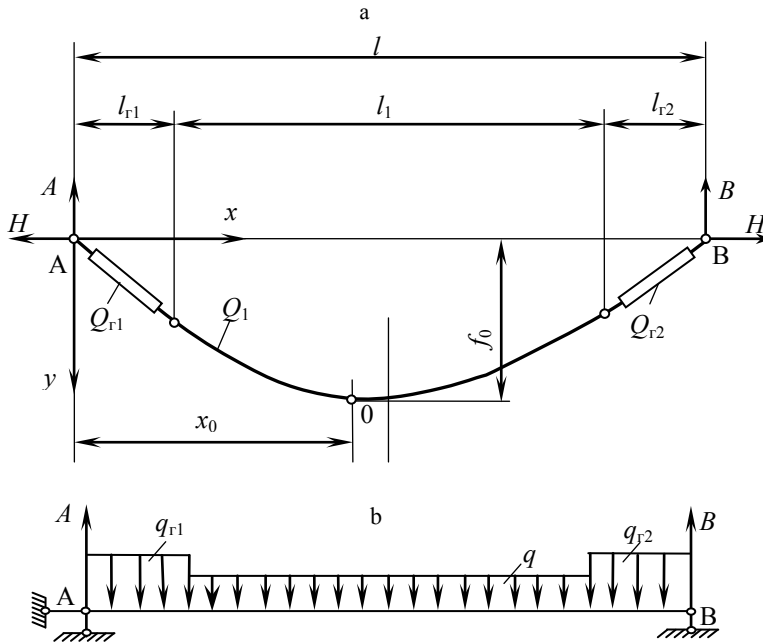


Рис. 1. Расчетная схема пролета:

- a – пролет с нагрузками от провода q , гирлянд изоляторов q_{r1} и q_{r2} ;
- b – то же в виде простой балки с шарнирными опорами, загруженной так же

Fig. 1. The estimated span scheme:

- a – span with loads of the wire q , of insulator strings q_{r1} and q_{r2} ;
- b – span in a form of a simple beam with hinged supports, loaded in the same way

Расчет стрел провеса

Стрелы провеса определяются на основании общей формулы (1). Опорные балочные реакции рассчитываются согласно рис. 1 по формулам:

$$A = \frac{ql}{2} + (q_{r1} - q)l_{r1} + \frac{qc - d}{2l};$$

$$B = \frac{ql}{2} + (q_{r2} - q)l_{r2} - \frac{qc - d}{2l},$$

где $c = l_{r1}^2 - l_{r2}^2$; $d = q_{r1}l_{r1}^2 - q_{r2}l_{r2}^2$; q – погонный вес проводов фазы (если фаза не имеет расщепления, то вес 1 м провода); q_{r1} , q_{r2} – погонный вес первой и второй гирлянд изоляторов (с учетом возможного многоцепного исполнения, а также арматуры, зажимов, коромысел, ушек, скоб, серег, промежуточных звеньев и узлов крепления); l – длина пролета (горизонтальное расстояние между точками крепления); l_{r1} , l_{r2} – длины первой и второй натяжных гирлянд изоляторов.

Вводим обозначения: $K_{в1} = \frac{q_{r1}}{q}$; $K_{в2} = \frac{q_{r2}}{q}$ – кратности веса первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно веса провода; $K_{r1} = \frac{l_{r1}}{l}$; $K_{r2} = \frac{l_{r2}}{l}$ – кратности длин первой и второй натяжных гирлянд изоляторов относительно длины пролета.

После преобразования получим опорную балочную реакцию

$$A = \frac{ql}{2} \left[1 + \delta_1 \left(\frac{2l}{l_{r1}} - 1 \right) + \delta_2 \right],$$

где δ_1 , δ_2 – коэффициенты, учитывающие наличие первой и второй натяжных гирлянд изоляторов, $\delta_1 = (K_{в1} - 1)K_{r1}^2$; $\delta_2 = (K_{в2} - 1)K_{r2}^2$.

Рассмотрим случай расположения максимальной стрелы провеса на проводе (рис. 1). На этом участке провода до точки x имеем балочный изгибающий момент

$$M_2(x) = Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{1}{2}l_{r1} \right) - \frac{1}{2}q(x - l_{r1})^2,$$

откуда по формуле (1) рассчитаем стрелу провеса

$$y_2(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{1}{2}l_{r1} \right) - \frac{1}{2}q(x - l_{r1})^2 \right] \quad \text{при } l_{r1} \leq x \leq l - l_{r2}. \quad (2)$$

Максимальная стрела провеса находится решением уравнения

$$\frac{dy_2(x)}{dx} = 0,$$

которое дает расстояние x_0 от начала пролета до этой точки

$$x_0 = \frac{l}{2} + \frac{1}{2l} \left(c - \frac{d}{q} \right) \quad \text{или} \quad x_0 = \frac{1}{2} \left(l + \frac{c}{l} - \frac{d}{ql} \right) = \frac{1}{2} \left(l + \frac{qc - d}{ql} \right), \quad (3)$$

и равна

$$f_0 = y_2(x_0) = \frac{1}{8H} \left[ql^2 + 2(q_{r1} - q)l_{r1}^2 + 2(q_{r2} - q)l_{r2}^2 + \frac{(qc - d)^2}{ql^2} \right]$$

или

$$f_0 = \frac{ql^2}{8H} K_f, \quad (4)$$

где K_f – коэффициент увеличения стрелы провеса, обусловленный наличием натяжных гирлянд изоляторов,

$$K_f = 1 + 2(K_{b1} - 1)K_{r1}^2 + 2(K_{b2} - 1)K_{r2}^2 + \left[(K_{r1}^2 - K_{r2}^2) - (K_{b1}K_{r1}^2 - K_{b2}K_{r2}^2) \right]^2$$

или

$$K_f = 1 + 2\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_{12}, \quad (5)$$

где $\delta_{12} = \left[(K_{r1}^2 - K_{r2}^2) - (K_{b1}K_{r1}^2 - K_{b2}K_{r2}^2) \right]^2 = (\delta_1 - \delta_2)^2$ – коэффициент, учитывающий разницу в параметрах гирлянд изоляторов.

Для построения зависимости стрелы провеса от координаты x определим $y(x)$ на других участках:

$$y_1(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - \frac{q_{r1}x^2}{2} \right] \text{ при } 0 \leq x < l_{r1}; \quad (6)$$

$$y_3(x) = \frac{1}{H} \left[Ax - q_{r1}l_{r1} \left(x - \frac{1}{2}l_{r1} \right) - ql_1 \left(x - l_{r1} - \frac{l_1}{2} \right) - q_{r2} \frac{(x - l + l_{r2})^2}{2} \right] \\ \text{при } l - l_{r2} < x \leq l, \quad (7)$$

где $l_1 = l - l_{r1} - l_{r2}$ – длина провода без учета провеса.

Для случаев расположения максимальной стрелы провеса на участках натяжных гирлянд изоляторов расстояние до нее рассчитывается по формулам:

$$x_0 = l_{r1} + \frac{q}{q_{r1}} \left(\frac{l}{2} - l_{r1} \right) + \frac{qc - d}{2q_{r1}l} < l_{r1}; \quad (8)$$

$$x_0 = l - l_{r2} + \frac{q}{q_{r2}} \left(l_{r2} - \frac{l}{2} \right) + \frac{qc - d}{2q_{r2}l} > l - l_{r2}. \quad (9)$$

При выполнении одного из этих неравенств для нахождения максимальной стрелы провеса нужно пользоваться формулами (6) или (7).

По выражениям (2), (6) и (7) построены зависимости провеса провода от координаты x вдоль пролета для разных гирлянд изоляторов (рис. 2). Практически для всех случаев максимальная стрела провеса приходится на

провод и рассчитывается по (4), а расстояние до нее – по (3). Для тяжелых длинных гирлянд (рис. 2d) максимум стрелы провеса пришелся на гирлянду и может быть рассчитан по (7), а расстояние до него – по (9).

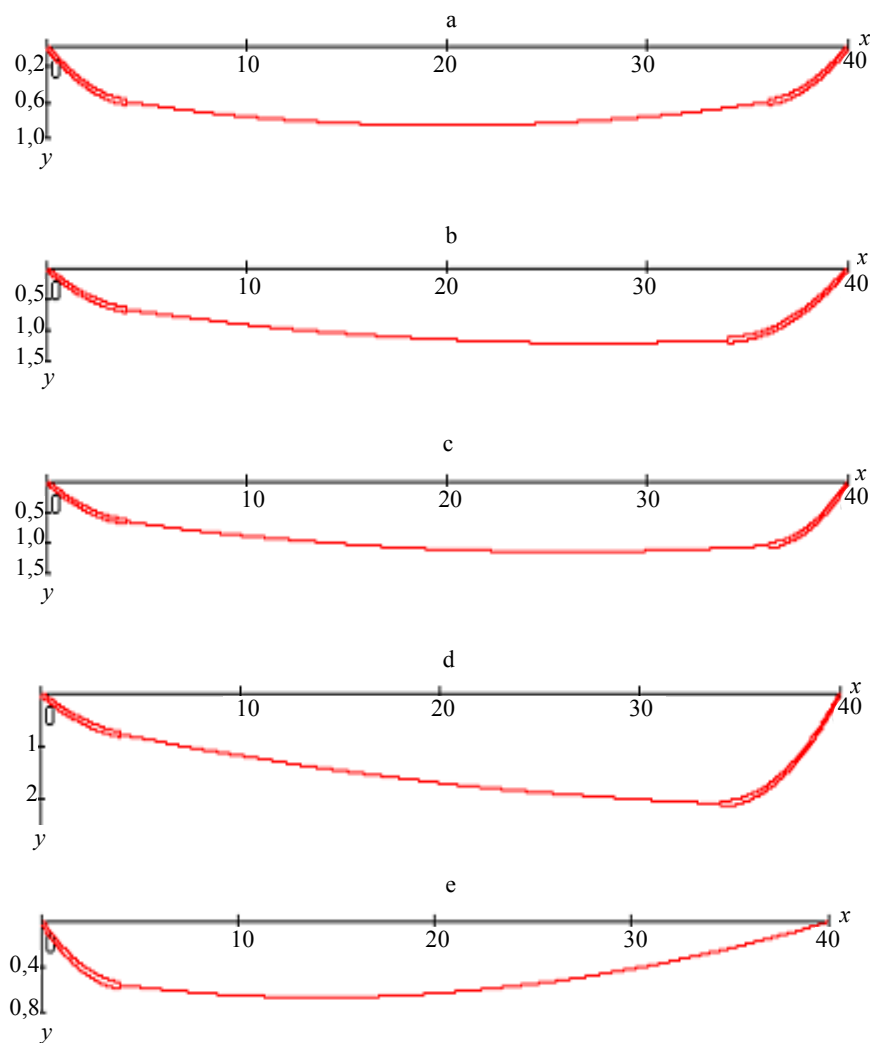


Рис. 2. Кривые провисания провода $q = 2$ даН/м в пролете 40 м при одинаковой первой гирлянде изоляторов ($l_{r1} = 4$ м, $q_{r1} = 60$ даН/м) и разных вторых:
 а – $l_{r2} = 4$ м, $q_{r2} = 60$ даН/м; б – 6 м, 60 даН/м; в – 4 м, 120 даН/м;
 д – 6 м, 120 даН/м; е – $l_{r2} = 0$, $q_{r2} = 0$

Fig. 2. The curves of sagging of wires $q = 2$ daN/m in a span of 40 m with the same first string of insulators ($l_{r1} = 4$ m, $q_{r1} = 60$ daN/m) and the various second ones:
 а – $l_{r2} = 4$ m, $q_{r2} = 60$ daN/m; б – 6 m, 60 daN/m; в – 4 m, 120 daN/m;
 д – 6 m, 120 daN/m; е – $l_{r2} = 0$, $q_{r2} = 0$

Полученная компактная формула (5) для расчета коэффициента увеличения стрелы провеса, обусловленного наличием гирлянд изоляторов, может быть проверена и использована для частных случаев:

1) в пролете только одна левая гирлянда изоляторов ($\delta_2 = 0$):

$$K_{f1} = 1 + 2\delta_1 + \delta_1^2 = (1 + \delta_1)^2 \text{ на расстоянии } x_0 = \frac{l}{2}(1 - \delta_1);$$

2) в пролете только одна правая гирлянда изоляторов ($\delta_1 = 0$):

$$K_{f2} = (1 + \delta_2)^2 \text{ на расстоянии } x_0 = \frac{l}{2}(1 + \delta_2);$$

3) в пролете одинаковые гирлянды изоляторов ($\delta_1 = \delta_2 = \delta$):

$$K_f = 1 + 4\delta \text{ на расстоянии } x_0 = \frac{l}{2},$$

что совпадает с формулой, приведенной в [1].

Полученные выражения (2)–(9) могут применяться и для горизонтальных ветровых нагрузок, а результирующая стрела провеса в наклонной плоскости рассчитывается после нахождения составляющих в обеих плоскостях [3].

Расчет коэффициента нагрузки

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

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

где K – коэффициент нагрузки, учитывающий конструктивные элементы для различных климатических нагрузок, $K^2 = \frac{12D}{q^2 l^2 l_1}$; D – интеграл,

$$D = \int_0^l Q^2(x) dx; \quad Q(x) \text{ – балочная поперечная сила.}$$

Для рис. 1 интеграл D определяется как

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

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

$$Q_1(x) = A - q_{r1}x; \quad Q_2(x) = A - q_{r1}l_{r1} - q(x - l_{r1});$$

$$Q_3(x) = A - q_{r1}l_{r1} - q(l - l_{r1} - l_{r2}) - q_{r2}(x - l + l_{r2}).$$

Окончательно получаем коэффициент нагрузки при разных гирляндах

$$K^2 = \frac{1}{l_1} \left[l + \frac{8(l_{r1}^3 + l_{r2}^3)}{l^2} - \frac{6(l_{r1}^2 + l_{r2}^2)}{l} - \frac{3c^2}{l^3} \right] + \frac{6}{ql^2 l_1} \left[q_{r1} l_{r1}^2 (l - 2l_{r1}) + q_{r2} l_{r2}^2 (l - 2l_{r2}) + \frac{cd}{l} \right] + \frac{1}{q^2 l^2 l_1} \left[4q_{r1}^2 l_{r1}^3 + 4q_{r2}^2 l_{r2}^3 - \frac{3d^2}{l} \right]. \quad (10)$$

Коэффициент нагрузки при одинаковых гирляндах ($q_{r1} = q_{r2} = q_r$; $l_{r1} = l_{r2} = l_r$) совпадает с формулой [1]

$$K^2 = \frac{l_1(l + 4l_r)}{l^2} + \frac{12q_r l_r^2}{q^2 l^2 l_1} \left(ql_1 + \frac{2}{3} q_r l_r \right).$$

Коэффициент нагрузки, рассчитанный по (10) при одной гирлянде в пролете ($q_{r1} = q_r$; $l_{r1} = l_r$; $q_{r2} = 0$; $l_{r2} = 0$), также совпадает с [1]

$$K^2 = \frac{l_2^2(l + 3l_r)}{l^3} + \frac{6q_r l_r^2}{q^2 l^3} \left[ql_2 + \frac{1}{2} q_r l_r \left(1 + \frac{l}{3l_2} \right) \right],$$

где $l_2 = l - l_r$.

При отсутствии гирлянд в пролете ($l_{r1} = l_{r2} = 0$) 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_1 [2]. Полученное выражение (10) 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].

Расчеты выполнены для разных длин пролетов РУ с разными проводами и гирляндами (табл. 1). Рассмотрен пролет с одной и двумя натяжными гирляндами изоляторов, с одинаковыми высотами подвеса, без ветра и гололеда. Первые пять строк таблицы соответствуют кривым провисания провода на рис. 2.

Из табл. 1 видно влияние разных гирлянд в пролете на коэффициенты увеличения стрелы провеса и нагрузки, которое особенно заметно для малых пролетов РУ с легкими проводами. С утяжелением проводов и переходом к пролетам ВЛ влияние разных гирлянд по концам пролета становится менее значительным. Однако пренебрегать различием гирлянд при расчете стрел провеса и тяжений нельзя.

Таблица 1

Расчет коэффициентов увеличения стрел провеса и коэффициентов нагрузки

Calculation of sag increase factors and load factors

Длина пролета l , м	Вес провода q , даН/м	Длина первой гирлянды l_{r1} , м	Длина второй гирлянды l_{r2} , м	Вес первой гирлянды q_{r1} , даН/м	Вес второй гирлянды q_{r2} , даН/м	Коэффициент учета первой гирлянды δ_1	Коэффициент учета второй гирлянды δ_2	Коэффициент учета различия гирлянд δ_{12}	Расстояние до максимальной стрелы провеса x_0 , м	Коэффициент увеличения стрелы провеса K_f	Коэффициент нагрузки K^2
40	2	4	4	60	60	0,290	0,290	0	20,00	2,160	13,720
		4	6	60	60	0,290	0,652	0,131	27,25	3,016	27,294
		4	4	60	120	0,290	0,590	0,090	26,00	2,850	28,683
		4	6	60	120	0,290	1,327	1,076	34,11*	5,199*	75,894
		4	0	60	0	0,290	0	0,084	14,20	1,664	6,373
		0	4	0	60	0	0,290	0,084	25,80	1,664	6,373
80	4	4	0	60	0	0,035	0	0,001	38,60	1,071	1,366
		0	4	0	60	0	0,035	0,001	41,40	1,071	1,366
		4	4	60	60	0,035	0,035	0	40,00	1,140	1,780
		4	6	60	60	0,035	0,079	0,002	41,75	1,229	2,371
		6	6	60	60	0,079	0,079	0	40,00	1,315	3,011
		4	8	60	60	0,035	0,140	0,011	44,20	1,361	3,336
		4	4	60	120	0,035	0,073	0,001	41,50	1,216	2,375
		4	6	60	120	0,035	0,163	0,016	45,13	1,413	4,115
		6	6	60	120	0,079	0,163	0,007	43,38	1,491	4,832
		4	8	60	120	0,035	0,290	0,065	50,20	1,715	7,169

* Расчет по (7) и (9), так как $x_0 > (l - l_{r2})$.

ВЫВОДЫ

1. В проектной практике встречаются решения, когда в одном пролете используются различные натяжные гирлянды изоляторов. Установлена связь между коэффициентом увеличения стрелы провеса K_f и коэффициентами δ , учитывающими наличие натяжных гирлянд изоляторов. Полученная компактная формула (5) расчета коэффициента увеличения стрелы провеса K_f подходит в общем случае для любого сочетания гирлянд в пролете. Показано совпадение расчета для частных случаев, известных из литературных источников.

2. Выведена формула (10) расчета коэффициента нагрузки для случая разных гирлянд в пролете. Достоверность формулы доказана совпадением результатов для частных случаев расположения гирлянд.

3. Полученные выражения (2)–(10) могут применяться как для вертикальных (весовых и гололедных) нагрузок, так и для горизонтальных (ветровых). В случае действия нагрузок в двух плоскостях уравнение состояния должно учитывать все составляющие при расчете результирующей приведенной нагрузки на провод в наклонной плоскости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бошнякович, А. Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / А. Д. Бошнякович. Л.: Энергия, 1975. 248 с.
2. 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. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-2-97-107>.
3. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких токопроводов при замене сосредоточенной нагрузки распределенной с учетом конструктивных элементов / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 3. С. 220–234. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-3-220-234>.
4. Сергей, И. И. Механический расчет гибких проводов воздушных линий с заградительными шарами / И. И. Сергей, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 4. С. 299–309. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-299-309>.
5. Бладыко, Ю. В. Механический расчет гибких проводов воздушных линий с заградительными шарами в различных климатических режимах / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 1. С. 24–36. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-24-36>.
6. Бладыко, Ю. В. Учет распорок в механическом расчете гибких проводов воздушных линий и распределительных устройств / Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. С. 219–231. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-219-231>.
7. Стрелюк, М. И. Численный метод расчета статики гибкой ошиновки ОРУ в различных режимах климатических воздействий / М. И. Стрелюк, И. И. Сергей, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений. 1983. № 8. С. 8–14.
8. Стрелюк, М. И. Векторно-параметрический метод механического расчета гибких токопроводов электроустановок энергосистем / М. И. Стрелюк, И. И. Сергей, Ю. В. Бладыко // Математические методы в электроэнергетике: материалы II Междунар. симпози. / Польская академия наук. Закопане, 10–12 нояб. 1988. Закопане, 1988. С. 173–181.
9. Анализ действия гололедно-ветровых и электродинамических нагрузок в пролетах с произвольным расположением проводов / И. И. Сергей [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2012. № 1. С. 38–44.
10. Streljuk, M. I. Computer Aided Program of Mechanical Calculation of Flexible Conductors for Substations and Overhead Lines Design / M. I. Streljuk, I. I. Sergey, Y. V. Bladyko // New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation: Proc. Int. Conf. Lublin Technical University. Lublin (Poland), 7–8 Sept. 1995. Lublin, 1995. P. 15–19.
11. Стрелюк, М. И. Численный метод механического расчета гибких токопроводов электроустановок энергосистем / М. И. Стрелюк, И. И. Сергей, Ю. В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 1995. № 3–4. С. 21–29.

Поступила 30.11.2018 Подписана в печать 04.02.2019 Опубликовано онлайн 31.01.2020

REFERENCES

1. Boshnyakovich A. D. (1975) *Calculation of the Wires of Substations and Large Transitions of Transmission Lines*. Leningrad, Energia Publ. 248 (in Russian).
2. Bladyko Y. V. (2018) Mechanical Calculation of Flexible Wires when the Concentrated Forces are Replaced by a Distributed Load. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (2), 97–107 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-2-97-107>.
3. Bladyko Y. V. (2018) Mechanical Calculation of Flexible Wires when the Concentrated Load is Replaced by Distributed One Taking into Account the Structural Elements. *Energetika*.

- Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (3), 220–234 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-3-220-234>.
4. Sergey I. I., Bladyko Y. V. (2018) Mechanical Calculation of Flexible Wires of Overhead Lines with Barrage Balls. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (4), 299–309 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-299-309>.
 5. Bladyko Y. V. (2019) Mechanical Calculation of Flexible Wires of Overhead Lines with Barrage Balls in Different Climatic Regimes. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*; 62 (1), 24–36 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-24-36>.
 6. Bladyko Y. V. (2019) Accounting for Spacers in the Mechanical Calculation of Flexible Wires for Overhead Lines and Switchgears. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 62 (3), 219–231 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-219-231>.
 7. Strelyuk M. I., Sergey I. I., Bladyko Y. V. (1983) Numerical Method for Calculating the Statics of a Flexible Busbars of Open Distribution Devices in Various Modes of Climatic Influences. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions*, (8), 8–14 (in Russian).
 8. Strelyuk M. I., Sergey I. I., Bladyko Y. V. (1988) Vector-Parametric Method of Mechanical Calculation of Flexible Current Wires of Electrical Installations of Power Systems. *Mathematical Methods in the Electric Power Industry: Materials of the II International Symposium. Zakopane, 10–12 Nov. 1988*. Zakopane, 1988. 173–181 (in Russian).
 9. Sergey I. I., Bladyko Y. V., Panamarenka Y. G., Tsemekhman B. D., Tarasov V. E. (2012) Action Analysis for Ice, Wind and Electro Dynamic Loads in Spans with Arbitrary Wire Layout. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (1), 38–44 (in Russian).
 10. Streliuk M. I., Sergey I. I., Bladyko Y. V. (1995) Computer Aided Program of Mechanical Calculation of Flexible Conductors for Substations and Overhead Lines Design. *New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation: Proc. Int. Conf. Lublin Technical University, (Poland), 7–8 Sept. Lublin, 1995*. 15–19.
 11. Strelyuk M. I., Sergei I. I., Bladyko Y. V. (1995) Numerical Method of Mechanical Calculation of Flexible Current Conductors of Power Units of Power Systems. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, (3–4), 21–29 (in Russian).