

НОВАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

Горин В.Я.

Донецкий национальный технический ун-т

gorin@dgtu.donetsk.ua

Давидсон Н.Н.

ОАО ПЭС Энергоуголь

This article gives main regulations of method of the definition of operation factors of wide crossing overhead transmission facilities on basic of theory circuit of equal resistance. As results of calculation on the grounds of proposed method of operation factors of the wide crossing airline 150 kV across the Bug's firth show, the vertical dimension of the airline exceeds the projected value about 19 percents

Постановка задачи. Под термином «большие переходы» подразумевают переходы воздушных линий электропередачи (ВЛ) в условиях равнинной местности через широкие водные пространства (судоходные и несудоходные реки, заливы, морские проливы и другие водные препятствия) и в условиях горной местности через различные ущелья.

Расчет большого перехода ЛЭП заключается в определении габаритов линии над водной поверхностью или отметками горной местности. Учитывая, что со временем расчетные габариты из-за остаточных деформаций проводов уменьшаются, исходная проектная задача должна быть решена с наименьшими погрешностями.

Анализ существующей методики. Существующая методика механического расчета проводов ВЛ в обычных пролетах [1] и для больших переходов [2] на основе теории цепной линии имеет ряд недостатков. Поэтому расчет проводов на больших переходах ВЛ с использованием теории цепной линии может при определенных обстоятельствах привести к недостаточно надежным результатам. Именно этот факт послужил основанием для изучения принципиальной возможности использования теории цепи равного сопротивления с целью решения проектной задачи уточненного расчета проводов на больших переходах ВЛ.

Как известно, цепью равного сопротивления называется цепь переменной толщины, у которой толщина в каждой точке пропорциональна натяжению, и вероятность разрыва во всех точках этой цепи одинакова. Теория цепи равного сопротивления является более строгой, чем используемая в настоящее время теория цепной линии. Кроме того, теория цепи равного сопротивления позволяет получать сравнительно простые решения ряда задач так называемого механического расчета проводов ВЛ в большом переходе, что является практически малодоступным при использовании теории цепной линии.

Задача разработок. Предложить расчетные выражения для определения параметров больших переходов ВЛ с использованием теории цепи равного сопротивления и проверить их в расчетах конкретных больших переходов ВЛ через водные пространства.

Изложение основного материала.

Пусть электрический провод подвешен на двух опорах высотой h_1 и h_2 на большом переходе через реку.

Обозначим:

L - длина провода;

l - расстояние между основаниями опор;

γ - удельная нагрузка от массы провода.

Получим уравнение кривой провисания провода на основе теории цепи равного сопротивления, а также выражения для расчета наибольшего провисания провода на переходе и напряжения в проводе.

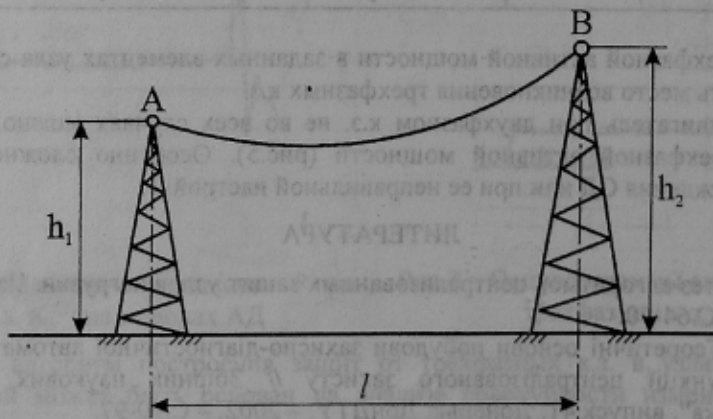
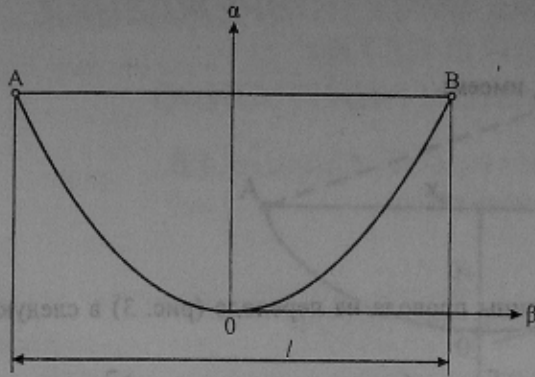


Рисунок 1 - Эскиз большого перехода ВЛ

Ранее было получено, что для точек подвеса провода на одной высоте в прямоугольных осях $0\alpha\beta$ (рис.2), уравнения цепи равного сопротивления имеют следующий вид:



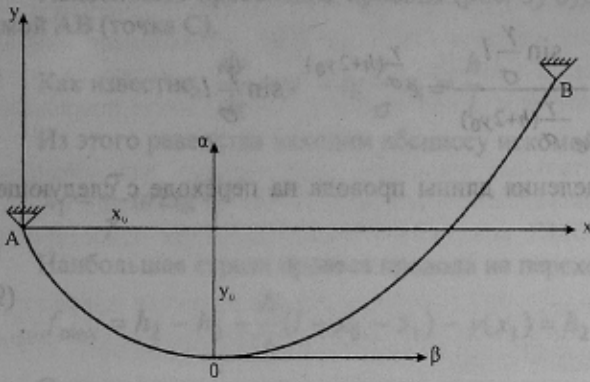
$$\alpha = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma \cdot l}{\sigma \cdot 2} = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} \cdot \beta; \quad (1)$$

$$L = \frac{l}{2} + \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{tg} \frac{\gamma \cdot l}{\sigma \cdot 2} = \beta + \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} \cdot \beta; \quad (2)$$

$$\beta = \frac{l}{2}.$$

Рисунок 2 - Кривая провисания провода в осях $0\alpha\beta$

Выбираем систему прямоугольных осей Axy с началом в точке A так, чтобы ось x была расположена в плоскости нити горизонтально, а ось y направлена вертикально вверх. Координаты точки B обозначим через l и $h = h_2 - h_1$ (рис. 1).



Как следует из рис. 3:

$$\alpha = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} \beta$$

Если ввести новые координаты, то последнее уравнение с учетом того, что $\alpha = y - y_0$; $\beta = x - x_0$ принимает следующий вид:

$$y - y_0 = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (x - x_0). \quad (3)$$

Рисунок 3 - Кривая провисания провода в осях Axy

Очевидно, что уравнение цепи равного сопротивления, записанное с учетом (3),

$$y = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (x - x_0) + y_0$$

содержит три параметра x_0 , y_0 , σ , которые могут быть определены из условий на концах нити.

В самом деле, пусть точка B расположена выше точки A . Тогда в точке A $x = y = 0$, и следовательно:

$$0 = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (0 - x_0) + y_0. \quad (4)$$

В точке B $x = l$, $y = h$, поэтому:

$$h = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) + y_0. \quad (5)$$

Из выражения (4) находим значение $y_0 = \frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos x_0$ и подставляем в (5), после чего имеем:

$$h = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) + \frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos x_0. \quad (6)$$

Окончательно уравнение кривой провисания провода с началом координат в точке A (6) можно записать в следующем виде:

$$y = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (x - x_0) + \frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos x_0. \quad (7)$$

Получим расчетное выражение для определения напряжения в проводе.

Так как в системе прямоугольных координат $0\alpha\beta$ (рис. 3):

$$h + y_0 = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0), \quad y_0 = -\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} \cdot x_0$$

то можно записать:

$$\cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) = e^{-\frac{\gamma}{\sigma}(h+y_0)}, \quad \cos \frac{\gamma}{\sigma} \cdot x_0 = e^{-\frac{\gamma}{\sigma}y_0}$$

Перемножая правые и левые части этих соотношений, имеем:

$$\cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) \cos \frac{\gamma}{\sigma} \cdot x_0 = e^{-\frac{\gamma}{\sigma}(h+y_0)} e^{-\frac{\gamma}{\sigma}y_0},$$

$$\cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) \cos \frac{\gamma}{\sigma} \cdot x_0 = e^{-\frac{\gamma}{\sigma}(h+2y_0)}$$

(8)

Используя (2), запишем выражение для определения длины провода на переходе (рис. 3) в следующем виде:

$$L = \frac{1}{2} \left(x_0 + \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} x_0 \right) + \frac{1}{2} \left(l - x_0 + \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) \right) = \frac{1}{2} \left[l + \frac{\sigma}{\gamma} \left(\operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} x_0 + \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) \right) \right]$$

Так как $\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha + \cos \beta}$, то:

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\gamma}{\sigma} x_0 \right) + \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) = \frac{\sin \left[\frac{\gamma x_0}{\sigma} + \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0) \right]}{\cos \frac{\gamma}{\sigma} x_0 \cos \frac{\gamma}{\sigma} (l - x_0)} = \frac{\sin \frac{\gamma}{\sigma} l}{e^{-\frac{\gamma}{\sigma}(h+2y_0)}} = e^{\frac{\gamma}{\sigma}(h+2y_0)} \cdot \sin \frac{\gamma}{\sigma} l$$

Окончательно имеем расчетное выражение для определения длины провода на переходе с следующим виде:

$$L = \frac{1}{2} \left(l + e^{\frac{\gamma}{\sigma}(h+2y_0)} \cdot \frac{\sigma}{\gamma} \sin \frac{\gamma}{\sigma} l \right)$$

(9)

Заметим, что значение y_0 можно выразить в долях h .

Решая (9) относительно σ любыми известными методами (например, методом половинного деления), можно определить напряжение в проводе на переходе.

Переходим к определению наибольшей стрелы провеса провода на переходе.

Находим величину h_0 (рис. 4):

$$h_0 = h_1 - y_0 = h_1 + \frac{\delta}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} x_0$$

Значение x_0 найдем из уравнения (6), решая его относительно x_0 любым известным способом.

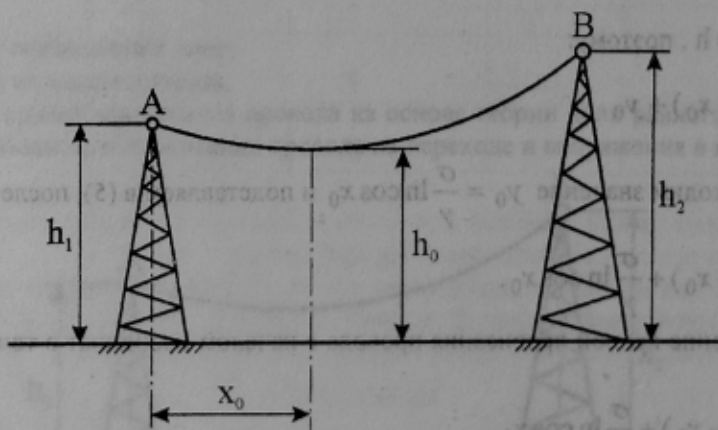


Рисунок 4 - К определению величины h_0

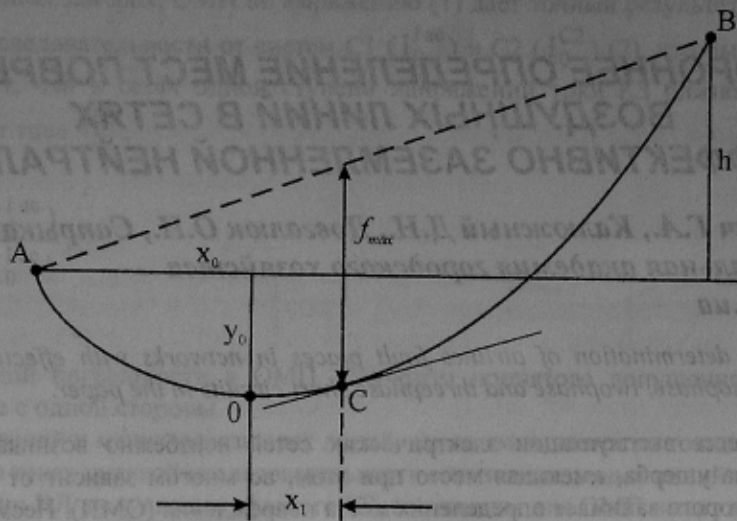


Рисунок 5 - К определению наибольшей стрелы провеса провода

Наибольшее провисание провода (рис. 5) будет в той точке кривой, где касательная к ней параллельна прямой АВ (точка С).

$$\text{Как известно, } \frac{dy}{dx} = y' = \operatorname{tg} \frac{\gamma}{\sigma} x_1 = \frac{h}{l}$$

Из этого равенства находим абсциссу искомой точки С кривой провисания провода:

$$x_1 = \frac{\sigma}{\gamma} \operatorname{arctg} \frac{h}{l}$$

Наибольшая стрела провеса провода на переходе может быть определена по выражению:

$$f_{\max} = h_2 - h_0 - \frac{h}{l}(l - x_0 - x_1) - y(x_1) = h_2 - h_0 - \frac{h}{l}(l - x_0 - x_1) - \left(-\frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} x_1\right).$$

Окончательно имеем расчетное выражение для определения наибольшей стрелы провеса провода на переходе в следующем виде:

$$f_{\max} = h_2 - h_0 - \frac{h}{l}(l - x_0 - x_1) + \frac{\sigma}{\gamma} \ln \cos \frac{\gamma}{\sigma} x_1 \quad (10)$$

Вывод.

Полученные результаты компьютерных расчетов большого перехода ВЛ 150 кВ через Бугский лиман с использованием различных методик свидетельствуют о том, что наиболее жесткое условие по габариту провода h_0 при переходе ВЛ через водные пространства получается при использовании в расчетах предложенных соотношений на основе теории цепи равного сопротивления по сравнению с общепринятой в настоящее время методикой, базирующейся на теории цепной линии. Так, при расчете по теории цепной линии в проекте большого перехода этой ВЛ габарит над мачтой судна составляет величину 5,08 м, тогда как при расчете по теории цепи равного сопротивления этот же габарит оценивается величиной 4,28 м, что при определенных условиях может создать трудности для нормальной эксплуатации ВЛ на большом переходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бошнякович А.Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи. - М.: Энергия, Ленинградское отд-ние, 1971. - 295с.
2. Бошнякович А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. - Л.: Энергия, 1975. - 236с.

Рекомендована до друку проф., д.т.н. Ковальовим О.П.