

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311

Г.Е. Поспелов, Ш. Фецко, М.С. Чернецкий

### О НЕКОТОРЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Для передачи электроэнергии и создания объединенных энергосистем применяются главным образом воздушные линии, которые требуют значительных затрат. Поэтому важен поиск путей уменьшения этих затрат при сохранении необходимого уровня надежности электроснабжения. В данной статье сообщаются некоторые результаты такого совместного поиска кафедры Электрических систем Белорусского политехнического института и кафедры Электроэнергетики Словацкой высшей технической школы в г. Братиславе.

Для интегрального экономического показателя расчетной стоимости передачи энергии получены формулы [1]

$$c_n = 0,5c_{n \text{ мин}} \left( \frac{1}{l_k} \frac{\eta}{\eta} + \frac{l_k}{1} \frac{1-\eta}{\eta} \right); \quad (1)$$

$$c_n = 0,5c_{n \text{ мин}} \left( \frac{1-\eta_3}{\eta_3} \frac{\eta}{1-\eta} + \frac{\eta_3}{1-\eta_3} \frac{1-\eta}{\eta} \right), \quad (2)$$

где  $c_{n \text{ мин}}$  — минимальная стоимость передачи энергии при заданном номинальном напряжении и сечении проводов линии [2];  $l_k, \eta_3$  — критериальная длина и экономический КПД линии передачи, которые равны:

$$l_k = U \cos \varphi \sqrt{\frac{\beta \tau}{p_l k_1 r_0}}; \quad \eta_3 = \frac{l_k}{1+l_k}. \quad (3)$$

КПД линии передачи связан с передаваемой мощностью  $P$  соотношением

$$\eta = \frac{U^2 \cos \varphi}{P r_0 l + U^2 \cos^2 \varphi} \quad (4)$$

или

$$\eta = \frac{p_l k_1 r_0 l_k^2}{R r_0 \tau l \beta + p_l k_1 r_0 l_k^2}, \quad (5)$$

где  $U$  — номинальное напряжение электропередачи;  $\text{сов}\varphi$  — коэффициент мощности в конце линии передачи;  $r_0$  — удельное активное сопротивление на 1 км линии;  $k_1$  — стоимость 1 км линии передачи;  $r_{\text{л}}$  — доля ежегодных отчислений от стоимости линии;  $\eta$  — КПД линии электропередачи;  $\tau$  — время потерь;  $\beta$  — стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии.

Соотношения (1) — (5) позволяют наметить основные пути улучшения технико-экономических показателей электропередачи. Одним из них является уменьшение величины  $k_1$ .

Перспективным и эффективным методом снижения стоимости 1 км электропередачи является применение изолирующих полимерных материалов и конструкций из них при строительстве линий электропередач. Широкое внедрение этих материалов в сетевом строительстве позволит в определенной степени ускорить решение проблемы по созданию линий высокой пропускной способности, надежности и экономичности.

Однако следует отметить, что применение конструкций из изолирующих полимерных материалов при строительстве линий электропередач требует учета не только специфики механической работы таких конструкций, но и всего сооружения в целом. На кафедре Электрические системы Белорусского политехнического института разработана методика исследований механической прочности линий электропередач напряжением 110–750 кВ с изолирующими стеклопластиковыми траверсами [3, 4]. На основании исследований установлено, что применение изолирующих стеклопластиковых траверс позволяет уменьшить высоту опоры на 10–30%, расчетные нагрузки, действующие в опасном сечении стойки опоры и на фундамент, — 15–24%, вес опоры на 15–22%. Уменьшается ширина трассы линии на 12–34% за счет уменьшения расстояний между проводниками, что ведет к уменьшению электрического сопротивления, увеличению проводимости и как следствие увеличению пропускной способности воздушных линий напряжением 110–750 кВ примерно от 6 до 26% [5]. В случае, когда высота стойки опоры не меняется, применение изолирующих стеклопластиковых траверс позволяет увеличить оптимальный пролет на 12,9–18,1% и снизить количество опор на 12,6–16,4%. Применение изолирующих стеклопластиковых траверс позволяет осуществить перевод линии на напряжение более высокого класса без замены опор с минимальными затратами. Выполненные исследования показали, что затраты на сооружение линии составляют в этом случае не более 40–50% от стоимости вновь создаваемой такой же линии.

Анализ результатов исследований показал, что в случае, когда применение стеклопластиковых траверс связано с уменьшением габаритов линии (высоты опоры, ширины трассы и др.), стоимость 1 км линии уменьшается примерно на 12%; для случая, когда высота стоек опоры остается неизменной (увеличивается пролет), стоимость 1 км электропередачи снижается на 28%.

При переводе линии на напряжение более высокого класса применение изолирующих стеклопластиковых траверс позволяет практически в два раза уменьшить затраты на 1 км линии.

Далее исследуется влияние одновременного действия на провода воздушных линий ветра и гололеда применительно к условиям Чехословакии с целью снижения стоимости 1 км воздушной линии.

Стандарт ЧСН 341100 не рассматривает однозначно совместное действие гололеда и ветра в расчетах дополнительной нагрузки проводов.

В начальном состоянии провод при температуре  $v_0$  имеет длину  $l_0$ . При повышении температуры до  $v_1$  он удлиняется, в связи с чем уменьшается напряжение, в результате чего провод упруго сокращается до окончательной длины  $l_1$ . Разнице длин  $l_1 - l_0$  соответствует удлинение или упругое укорочение провода

$$l_1 - l_0 = \alpha_t l_0 (v_1 - v_0) - \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_0} - \sigma_{H_1}). \quad (6)$$

После преобразований и подстановки выражений для определения длин проводов в уравнение (6) определяем разницу температур

$$v_1 - v_0 = \frac{a^2 \gamma^2}{24 \alpha_t} \left( \frac{z_1^2}{\sigma_{H_1}^2} - \frac{z_0^2}{\sigma_{H_0}^2} \right) + \frac{\sigma_{H_0} - \sigma_{H_1}}{\alpha_t E}, \quad (7)$$

где  $a$  — пролет провода;  $\gamma$  — удельная масса гололеда;  $\alpha_t$  — коэффициент теплового расширения;  $z_1 z_0$  — соответственно нагрузка провода при удельной прочности  $\sigma_{H_1}$  и температуре  $-5^\circ\text{C}$  с гололедом;  $\sigma_{H_0}$  — напряжение при  $5^\circ\text{C}$  с гололедом;  $E$  — модуль продольной упругости материала провода.

Для определения толщины стенки гололеда, которая способствует разрыву провода, нужно определить величину перегрузки, из которой получим искомую толщину стенки гололеда. Исходим из уравнения (7) и делаем предположение, что самой благоприятной температурой образования гололеда является  $v_1 = v_0 = -5^\circ\text{C}$ , тогда из (7) определяем перегрузку, отвечающую удельной прочности  $\sigma_{H_1}$

$$z_1 = \sqrt{(v_1 - v_0 - \frac{\sigma_{H_0} - \sigma_{H_1}}{\alpha_t E}) \frac{24 \sigma_{H_1} \alpha_t}{\gamma^2 a^2} + (\frac{\sigma_{H_1}}{\sigma_{H_0}})^2 z_0^2}. \quad (8)$$

Толщина стенки гололеда  $t$  по стандарту 341100 рассчитывается по формуле

$$q_2 = (\pi \gamma_H t^2 + \pi \gamma_H t d) 10^{-6}. \quad (9)$$

Действительным корнем этого квадратного уравнения является толщина стенки гололеда, способствующая разрыву провода

$$t = -\frac{d}{2} + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \frac{q_2}{\pi \gamma_H} \cdot 10^6}. \quad (10)$$

Предполагаем, что давление ветра, действующее в горизонтальной плоскости, перпендикулярно к оси провода. Кроме того, провод загружен собственным весом. Давление ветра зависит от скорости следующим образом:

$$F_v = 9,81 \alpha_v c \frac{v^2}{16} s_v. \quad (11)$$

Из последнего определяем искомую скорость, как

$$v = \sqrt{\frac{16 F_v}{9,81 \alpha_v c s_v}}. \quad (12)$$

Давление ветра рассчитываем по формуле

$$F_v = 9,81 q_1 q \sqrt{z_1^2 - 1}, \quad (13)$$

где  $q_1$  — масса провода на погонный метр.

При определении скорости ветра, при которой возникает разрыв провода с гололедом в Т-районе, для  $-5^\circ\text{C}$  провод, кроме собственного веса и давления ветра, загружен и весом гололеда.

Эквивалентный диаметр провода с гололедом можно записать как

$$d_{v+n} = 2t_n + d = \sqrt{d^2 + \frac{4(1130 + 55d) 10^3}{\pi \gamma_H}}. \quad (14)$$

Из этого критическая скорость ветра на провод с гололедом в Т-районе будет определяться по формуле (12) следующим уравнением:

$$v_n = \sqrt{\frac{16 \cdot 9,81 \alpha_v \sqrt{(q_1 z_1)^2 - [q_1 (1130 + 55d) 10^3]^2}}{9,81 \alpha_v c a d_{v+n} 10^{-3}}}. \quad (15)$$

Подставляя выражение (14) в уравнение (15), получаем искомую скорость ветра

$$v_n = \sqrt{\frac{16 \cdot 10^3 \sqrt{(q_1 z_1)^2 - [q_1 (1190 + 55d) 10^3]^2}}{\alpha_v c \sqrt{d^2 + \frac{4(1130 + 55d) 10^3}{\pi \gamma_H}}}}. \quad (16)$$

Толщина стенки гололеда в Т-районе — по формуле (10).

На основании исследований установлено, что из соотношений (1) — (5) определяются наивыгоднейшие параметры электропередачи, обеспечивающие оптимальную стоимость передачи электроэнергии;

— для улучшения интегрального показателя электропередачи (расчетной стоимости) следует считать перспективным направлением применение изолирующих материалов и конструкций из них с последующей оценкой механической прочности отдельных элементов и оценкой технико-экономической эффективности, пропускной способности и надежности сооружений с изолирующими конструкциями в целом;

— анализ воздушных линий напряжением 110–750 кВ показал, что применение стеклопластиковых траверс позволяет снизить стоимость 1 км линии примерно на 10–28% и увеличить пропускную способность на 6–26%.

#### Л и т е р а т у р а

1. П о с п е л о в Г.Е. Пропускная способность систем электропередачи, связь ее с технико-экономическими показателями и основные направления ее повышения. — Тез. докл. науч.-техн. семинара "Повышение пропускной способности и эффективности электрических сетей в Белорусской энергосистеме". Мн., 1978. 2. П о с п е л о в Г.Е. Элементы технико-экономических расчетов систем электропередач. — Мн., 1967. 3. П о с п е л о в Г.Е., Ф е д и н В.Т., Ч е р н е ц к и й М.С. Экономические габаритные размеры воздушных линий электропередачи с металлическими и стеклопластиковыми траверсами. — Электрические сети и системы, 1976, № 2. 4. Ч е р н е ц к и й М.С. Особенности расчета промежуточных порталных опор со стеклопластиковыми траверсами. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1975, № 7. 5. Ч е р н е ц к и й М.С. Использование новых материалов для повышения пропускной способности линий электропередач. — Тез. докл. науч.-техн. семинара по повышению пропускной способности и эффективности электрических сетей в Белорусской энергосистеме. М., 1978.

*УДК 621.311.391*

**Л.Н.Свита**

### О РАСШИРЕНИИ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110-330 кВ

Дифференциально-фазные высокочастотные защиты (ДФЗ) используются в качестве основных защит от всех видов повреждений ЛЭП напряжением 110 кВ и выше [1].

В работе рассмотрены некоторые новые технические решения, которые могут быть использованы для повышения эффективности ДФЗ линии электропередач 110–330 кВ.

Для расширения области применения ДФЗ целесообразно выполнить защиту так, что ее высокочастотные (в. ч.) передатчики постоянно работа-