

# АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ВЫБОРА СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Султанов Р.А.<sup>1</sup>, Пак В.Е.<sup>2</sup>, Якубова Е.Е.<sup>3</sup>, Тимохин Р.В.<sup>4</sup>,  
Лавренчук О.Э.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Султанов Рахман Алимйрзаевич – студент;

<sup>2</sup>Пак Виктор Евгеньевич – студент;

<sup>3</sup>Якубова Екатерина Евгеньевна – студент;

<sup>4</sup>Тимохин Роман Владимирович – студент;

<sup>5</sup>Лавренчук Ольга Эдуардовна – студент,

специальность: электроэнергетические сети и системы,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
г. Москва

**Аннотация:** в статье анализируется методика выбора сечений проводов воздушной линии электропередачи с использованием экономической плотности тока, рассматриваются основные принципы, на которых основана методика и определяются достоинства и недостатки методики.

**Ключевые слова:** оптимальное сечение проводов воздушной линии электропередачи, метод экономической плотности тока, экономическая плотность тока.

УДК 621.31

Проанализируем наличие экстремума функции затрат на сооружение и эксплуатацию линий электропередачи, введя при этом следующие допущения [1]:

- зависимость стоимости сооружения 1 км. линии ( $K_0$ ) прямо пропорционально сечению ( $F$ ):

$$K = K'_0 + K''_0 \cdot F, \quad (1)$$

где  $K'_0$  – компонент  $K'_{0\text{лэп}}$ , не зависящий от сечения, руб/км;  $K''_0$  – коэффициент определяющий наклон зависимости  $K_0 = f(F)$  по отношению к горизонтальной оси, руб/(км·мм<sup>2</sup>)

- равенство погонного активного сопротивления омическому:

$$r_0 = r_0[\text{ом}] = \rho_{\text{пр}} / F_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала, Ом·мм<sup>2</sup>/км

- отсутствие потерь на «корону» в воздушных линиях ( $\Delta P_{\text{кор}} = 0$ ) и диэлектрических потерь в кабельных линиях ( $\Delta P_{\text{диэл.}} = 0$ )

- отсутствие ущерба от перерыва электроснабжения потребителей ( $Y=0$ )

При этих допущениях приведенные затраты на линию электропередачи длиной  $L$  в соответствии с общим выражением определяются следующим образом [2]:

$$Z_{\text{л}} = E_{\text{н}} K_{\text{л}} + Z_{\text{пот.л}} = (E_{\text{н}} + \alpha_{\text{л}}) \cdot K_{\text{л}} + z_{\text{э}} \cdot \Delta \mathcal{E}_{\text{л}}, \quad (3)$$

$$\text{где } \Delta \mathcal{E}_{\text{л}} = \Delta P_{\text{нб}} \cdot \tau \cdot 10^{-3} = 3 \cdot I_{\text{нб}}^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot \tau \cdot 10^{-3}.$$

Затраты на сооружение и эксплуатацию одного километра линии ( $Z_{\text{л0}}$ ) могут быть записаны в виде:

$$Z_{\text{л0}} = (E_{\text{н}} + \alpha_{\text{л}}) \cdot K_0 + z_{\text{э}} \cdot 3 \cdot I_{\text{нб}}^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot \tau \cdot 10^{-3} \quad \text{или} \quad (4)$$

$$Z_{\text{л0}} = (E_{\text{н}} + \alpha_{\text{л}}) \cdot (K'_0 + K''_0 \cdot F) + (z_{\text{э}} \cdot 3 \cdot I_{\text{нб}}^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot \tau \cdot 10^{-3}) / F, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{\text{нб}}$  выражено в кВт,  $\tau$  – ч/год,  $z_{\text{э}}$  – руб/(кВт·ч),  $I$  – в А.

Введем обозначения:

$$\begin{cases} A_0 = (E_n + \alpha_l) K_0'' , \\ A_1 = (E_n + \alpha_l) K_0' , \\ A_2 = z_3 \cdot 3 \cdot I_{нб}^2 \cdot r_0 \cdot L \cdot \tau \cdot 10^{-3} . \end{cases} \quad (6)$$

В общем виде как функция сечения  $Z_{л0}$  представляется следующим образом:

$$Z_{л0} = A_0 + A_1 \cdot F + A_2 / F . \quad (7)$$

Графические составляющие и их сумма показаны на рисунке 1, из которого видно, что функция  $Z_{л0} = f( F )$  имеет минимум при некотором сечении  $F = F_{экстр}$ . Для нахождения  $F_{экстр}$  приравняем производную  $Z_{л0}$  по  $F$  нулю:

$$\frac{dZ_{л0}}{dF} = A_1 - A_2 / F^2 = 0, \text{ откуда:} \quad (8)$$

$$F_{экстр} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = I_{нб} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot z_3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{(E_n + \alpha_l) \cdot K_0'}} . \quad (9)$$

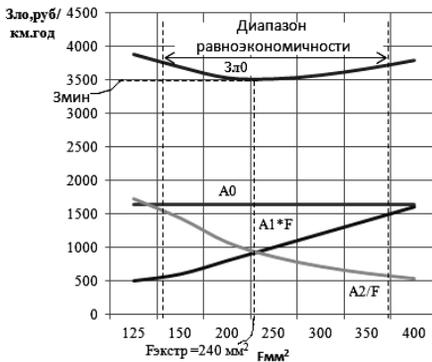


Рис. 1. Составляющие функции затрат на сооружение и эксплуатацию 1 км линии электропередачи 110 кВ

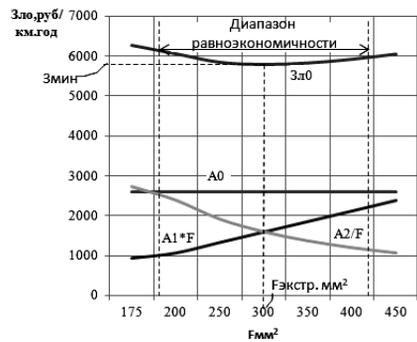


Рис. 2. Составляющие функции затрат на сооружение и эксплуатацию 1 км линии электропередачи 220 кВ

Из рисунка 1 и 2 видно, что функция  $Z_{л0} = f( F )$  в окрестности точки минимума достаточно пологая, поэтому в целях экономии цветного металла в качестве экономически целесообразного условно принимают сечение  $F_{эк}$ , несколько меньше  $F_{экстр}$ , т.е.  $F_{эк} = k_{эк} F_{экстр}$ , где коэффициент  $k_{эк} \leq 1$

Таким образом,  $F_{эк.ст}$  которое называется экономически целесообразное сечение по условию минимума расхода проводникового материала, этому сечению соответствует так называемая экономическая плотность тока.

$$J_{эк} = \frac{I_{нб}}{F_{эк.ст}} = \frac{1}{k_{эк}} \cdot \sqrt{\frac{(E_n + \alpha_l) \cdot K_0''}{3 \cdot z_3 \cdot \rho \cdot \tau} \cdot 10^{-3} \left[ \frac{A}{\text{мм}^2} \right]}; \quad (10)$$

выражение свидетельствует о том, что значение экономической плотности тока определяется большей совокупностью параметров. Из анализа этого выражения следует:

- многообразие влияющих факторов требует дифференцированного подхода к оценке экономической плотности тока, для различных категорий линий, условий их сооружения и эксплуатации.

- широкий диапазон изменения влияющих факторов осложняет унификацию значения экономической плотности тока для их последующего использования для выбора сечений проводов и жил кабелей.

Тем не менее, в ПУЭ регламентированы значения  $J_{\text{эк}}$  и прописаны рекомендации по ее применению [3].

#### **Достоинства и недостатки метода**

Будучи установленными в начале 50-х годов, нормированные значения экономической плотности тока представляли собой прогрессивный шаг в методологии выбора сечений проводов и жил кабелей, поскольку в отличие от предшествующих методик они учитывали не только стоимость сооружения, но и затраты на компенсацию потерь электроэнергии. Кроме того, в послевоенный период интенсивного электросетевого строительства проектировщики получили в свои руки инструмент, существенно облегчивший процесс массового выбора сечений из-за исключительной простоты метода [4].

Несмотря на достоинства, метод экономической плотности тока для выбора сечений проводов ВЛЭП обладает рядом недостатков:

- Стандартная шкала сечений проводов дискретна. При определении сечения по  $J_{\text{эк}}$  чаще всего получается значение, находящееся между двумя стандартными значениями. Округление расчетного значения до ближайшего стандартного – в ряде случаев требует дополнительных расчетов.

- Выражение для экономической плотности получено в предположении линейной зависимости капитальных вложений в ВЛЭП от ее длины. Линейная зависимость нарушается при переходе с массовому строительству воздушных линий на унифицированных опорах.

- При определении значений  $J_{\text{эк}}$  не учтено влияние на выбор сечений проводов изменения передаваемой мощности с момента ввода линии в эксплуатацию до момента, когда нагрузка достигнет расчетного значения.

- Методика выбора сечений проводов по экономической плотности тока требует прогнозирования расчетных нагрузок по ВЛЭП-220 кВ с точностью до 60-100 А (при применяемой номенклатуре проводов с интервалом 30-100 мм<sup>2</sup>), что совершенно нереально.

- Зависимость стоимости линий от сечения проводов принята одинаковой для линии всех номинальных напряжений и опор любой конструкции

Метод экономической плотности тока направлен на определение экстремума функции затрат на сооружение и эксплуатацию линии электропередачи в зависимости от ее сечения. Экстремум, соответствующий минимуму дисконтированных затрат, является решением задачи. Погрешности решения связаны с наличием допущений, которые вводятся в данном методе. Недостатком метода экономической плотности тока является четыре допущения, наличие которых позволяет получить только приближенное (оценочное) решение. Также в методе экономической плотности тока сечение определяется округлением до ближайшего стандартного сечения, что в некоторых случаях требует дополнительных расчетов.

#### **Список литературы**

1. Геркусов А.А. Методики выбора сечений проводов воздушных линий электропередач [Текст]. // Научно-технические ведомости СПбГУ. Естественные и Инженерные науки. 2014 . с. 131-138.
2. Федотов А.И., Геркусов А.А. Проблема энергосбережения при выборе сечений проводов воздушных линий 110-500 кВ [Текст]. // Проблемы энергетики 2000. № 11-12. С. 54-61.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]. 7-е изд. СПб.: ДЕАН, 2007. 701 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] // Под ред. Д.Л. Файбисовича. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012. 320 с.