

УДК 621.311

СТОИМОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И УСЛОВИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ЕЕ ТРАНСПОРТА В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Засл. деят. науки и техники Республики Беларусь,
докт. техн. наук, проф. ПОСПЕЛОВ Г. Е.

Белорусский национальный технический университет

Стоимость передачи электроэнергии учитывает капиталовложения и стоимость потерянной электроэнергии в следующем виде:

$$C = \frac{\alpha K_1 l \chi}{PT} + \frac{\Delta P \tau \beta}{PT}, \quad (1)$$

где $\alpha K_1 l$ – ежегодные отчисления от стоимости линии; χ – коэффициент, учитывающий экономическое влияние линии на окружающую среду; PT – электроэнергия, переданная за год; $\Delta P \tau \beta$ – стоимость потерянной электроэнергии за год.

Вместо (1) можно записать

$$C = \frac{\alpha K_1 l \chi}{PT} + \frac{P \tau \beta r_0 l}{U^2 T \cos^2 \varphi}, \quad (2)$$

где r_0 – удельное активное сопротивление на 1 км линии.

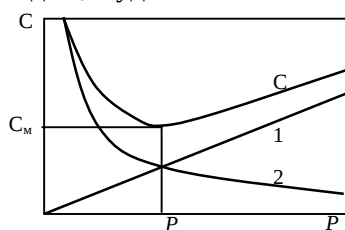


Рис. 1. Зависимость стоимости передачи электроэнергии от передаваемой мощности

По выражению (2) на рис. 1 построены зависимости стоимости передачи электроэнергии (кривая C), стоимости потерь электроэнергии (прямая 1) и стоимости ежегодных отчислений от капитальных затрат (кривая 2).

Передаваемая экономическая мощность P_3 , при которой будет минимальное значение стоимости передачи электроэнергии, определится из уравнения

$$\frac{\partial C}{\partial P} = -\frac{\alpha K_1 l \chi}{P^2 T} + \frac{r_0 \tau \beta l}{U^2 T \cos^2 \varphi} = 0.$$

Отсюда найдем

$$P_3 = U \cos \varphi \sqrt{\frac{\alpha K_1 l \chi}{r_0 \tau \beta}}. \quad (3)$$

Подставляя значение P_3 в выражение (2), получим минимальное значение стоимости передачи электроэнергии:

$$C_m = \frac{2l}{UT \cos \varphi} \sqrt{\alpha K_1 l \chi \tau \beta r_0} \quad (4)$$

или

$$\frac{C_m}{l} = \frac{2\sqrt{\alpha K_1 \beta r_0 \tau \chi}}{UT \cos \varphi}. \quad (5)$$

Дальность передачи l не влияет на экономическую мощность, а влияет на КПД ЛЭП

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P} = \frac{P}{P + \Delta P_0 l} = \frac{\frac{P}{\Delta P_0}}{\frac{P}{\Delta P_0} + l},$$

где ΔP_0 – удельные потери мощности на 1 км ЛЭП; $\frac{P}{\Delta P_0} = l_3$ – эквивалентная длина [1].

Эквивалентная длина l_3 – длина, при которой потери мощности равны передаваемой мощности P , а КПД ЛЭП будет

$$\eta = \frac{l_3}{l_3 + l} = 0,5.$$

Эквивалентная длина l_3 изменяется в зависимости от передаваемой мощности.

Оптимальной передаче экономической мощности свойственно значение l_k , которое названо [2] критериальной длиной:

$$l_k = \frac{P_3}{\Delta P_{03}},$$

где удельные потери мощности при $P = P_3$ составляют

$$\Delta P_{03} = \frac{P_3^2 r_0}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{\alpha K_1 \chi}{\tau \beta}. \quad (6)$$

Следовательно, критериальная длина рассчитывается по формуле

$$l_k = \frac{U \cos \varphi \sqrt{\frac{\alpha K_1 \chi}{r_0 \tau \beta}}}{\frac{\alpha K_1 \chi}{\tau \beta}} = U \cos \varphi \sqrt{\frac{\tau \beta}{\alpha K_1 \chi r_0}}. \quad (7)$$

Таким образом, эквивалентная длина l_3 при передаче мощности, равной экономической мощности, становится критериальной длиной, определяемой формулой (7). Понятие критериальной длины используется [2] для оптимизации параметров электрических сетей.

Зная критериальную длину, можно найти экономический КПД

$$\eta_3 = \frac{l_k}{l + l_k},$$

при котором стоимость передачи электроэнергии будет минимальной.

Если принять экономический КПД для ЛЭП в качестве фиксированного, то соответствующая длина определится равенством

$$l = \frac{1 - \eta_3}{\eta_3} l_k.$$

Ориентируясь на значение КПД $\eta_3 \geq 0,9$, для каждой структуры расщепленных проводов можно определить длину $l_{0,9}$, для которой передаваемая мощность равна P_3 и $\eta_3 = 0,9$:

$$l_{0,9} = \frac{1-0,9}{0,9} l_k = \frac{l_k}{9}.$$

Длина $l_{0,9}$ дает информацию о том, что при $P = P_3$: если $l \leq l_{0,9}$, то $\eta_3 \geq 0,9$, а если $l \geq l_{0,9}$, то $\eta_3 < 0,9$.

Полученные соотношения позволяют определить граничную длину, до которой выгодно передавать электроэнергию от удаленного источника стоимостью 1 кВт·ч C_1 при заданной стоимости электроэнергии C_2 в приемной системе. Граничная длина определяется равенством

$$C_m + C_1 = C_2,$$

где

$$C_m = \frac{2l\sqrt{\alpha K_1 \chi r_0 \tau \beta}}{UT \cos \varphi}.$$

Разница $(C_2 - C_1)$ свидетельствует об экономии на 1 кВт·ч за счет передачи электроэнергии в приемную систему (со стоимостью 1 кВт·ч – C_2) от другого удаленного источника (со стоимостью 1 кВт·ч – C_1).

Тогда граничная дальность передачи l_r , при которой экономия $(C_1 - C_2)$ покрывается минимальной стоимостью передачи электроэнергии, определится равенством

$$\frac{2l_r\sqrt{\alpha K_1 \chi r_0 \tau \beta}}{UT \cos \varphi} = C_1 - C_2.$$

Отсюда

$$l_r = \frac{(C_1 - C_2)UT \cos \varphi}{2\sqrt{\alpha K_1 \chi r_0 \tau \beta}}. \quad (8)$$

Если $l = l_r$, то $(C_2 - C_1) = C_m$ – экономия, создаваемая за счет минимальной стоимости передачи электроэнергии. При $l < l_r$ $(C_2 - C_1) > C_m$, т. е. экономия превзойдет минимальную стоимость передачи электроэнергии. Для $l > l_r$ $(C_2 - C_1) < C_m$, т. е. минимальной стоимости передачи электроэнергии от удаленного источника будет недостаточно для создания экономии $(C_2 - C_1)$, т. е. транспорт энергии от удаленного источника не обеспечивает желаемой экономии.

Рассмотрим влияние передачи электроэнергии конечных устройств на стоимость и потерь на коронирование проводов, а также на КПД электропередачи (рис. 2), который в о. е. находится по формуле

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_n}{P} - \frac{\Delta P_k}{P} - \frac{\Delta P_t}{P}, \quad (9)$$

где ΔP_n – потери на нагревание в проводах ЛЭП;

$$\frac{\Delta P_n}{P} = \frac{I^2 \rho l \cdot 10^{-3}}{PF} = \frac{(j_3 F)^2 \rho l \cdot 10^{-3}}{U_\phi j_3 F \cos \varphi} = \frac{\rho j_3 l \cdot 10^{-3}}{U_\phi \cos \varphi},$$

ΔP_k и ΔP_t – потери на корону и в трансформаторах.

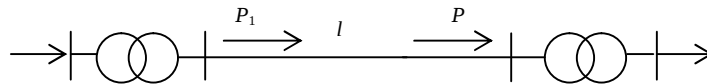


Рис. 2. Схема электропередачи

Согласно [3], при правильно выбранной конструкции проводов $\Delta P_k/P$ составляет 0,005...0,01 на каждую тысячу километров линии; погонные относительные потери на корону составят

$$\frac{\Delta P_k}{P} = (0,5 \dots 1,0) \cdot 10^{-8} l.$$

Отношение $\frac{\Delta P}{P}$ в сумме для отправного и приемного концов не превышает 0,01 [3].

Отсюда значение КПД электропередачи:

$$\eta = 1 - \frac{\rho j_3 l \cdot 10^{-3}}{U_\phi \cos \varphi} - (0,5 \dots 1,0) \cdot 10^{-8} l - 0,01,$$

или

$$\eta = \frac{0,99 U \rho j_3 l \cdot 10^{-3} - (0,5 \dots 1,0) \cdot 10^{-8} l U}{U}. \quad (10)$$

Из этой формулы видно, что конечные устройства электропередачи и потери на корону не должны оказывать существенного влияния на ее КПД.

Стоимость передачи электроэнергии для электропередачи (рис. 2) в соответствии с изложенным выше представится выражением:

$$C = \frac{\alpha K_1 l \chi}{PT} + \frac{\Delta P \tau \beta}{PT} + \frac{0,5 P \cdot 10^{-8} l \tau_k \beta_k}{PT} + \frac{0,01 P \tau \beta}{PT},$$

или

$$C = \frac{\alpha K_1 l \chi}{PT} + \frac{P \tau_0 l \tau \beta}{U^2 T \cos^2 \varphi} + \Delta C, \quad (11)$$

где

$$\Delta C = \frac{0,5 \cdot 10^{-8} l \tau_k \beta_k}{T} + \frac{0,01 \tau \beta}{T}.$$

Сравнение этого выражения с (2) показывает, что в (11) присутствует ΔC , которая не зависит от передаваемой мощности и при дифференцировании по мощности даст 0. Поэтому ΔC не окажет какого-либо влияния на полученные выше соотношения критериальных параметров и на характер зависимости стоимости передачи электроэнергии от передаваемой мощности (рис. 1).

На рис. 3 и 4* построены зависимости стоимости передачи электроэнергии на 1 км от передаваемой мощности для номинальных напряжений электропередачи соответственно 500 и 750 кВ. При этом кроме ЛЭП учитывались также конечные устройства и потери энергии холостого хода.

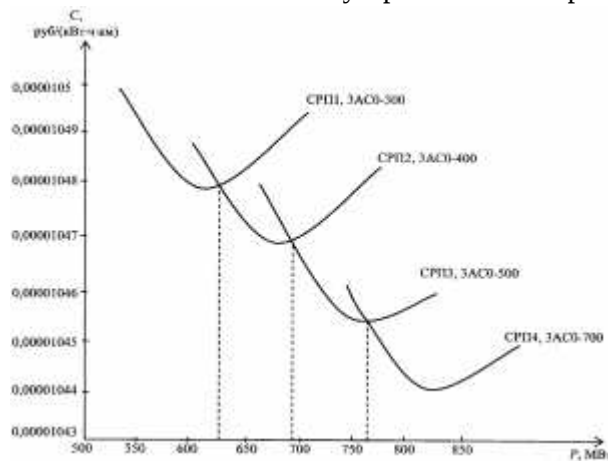


Рис. 3. Зависимость стоимости передачи электроэнергии от передаваемой мощности для напряжения ЛЭП 500 кВ

* Рис. 3 рассчитан студентом Д. Г. Горячко, рис. 4 – студентом А. В. Рожковым.

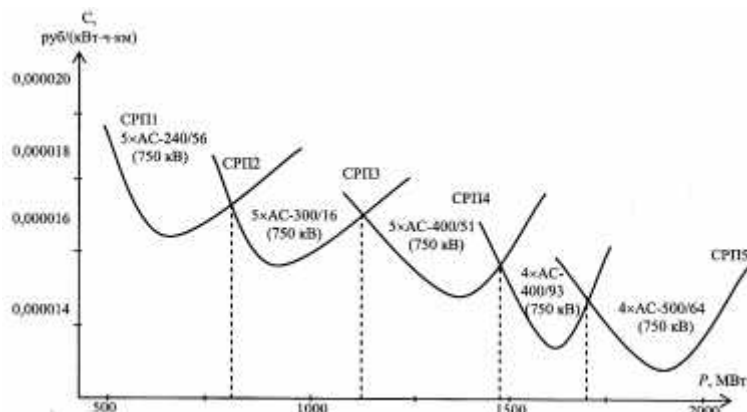


Рис. 4. Зависимость стоимости передачи электроэнергии от передаваемой мощности для напряжения ЛЭП 750 кВ

Совокупность зависимостей рис. 3 и 4 определяет экономические области применения различных стандартных структур расщепленных проводов (СРП). Данные области дают возможность производить выбор конструкций проводов, их сечений и номинального напряжения ЛЭП. Более подробное описание возможностей этих экономических областей было сделано ранее [4].

ВЫВОДЫ

1. Зависимости стоимости передачи электроэнергии от передаваемой мощности позволяют оптимизировать выбор СРП ЛЭП и выяснить условия экономичности транспорта электроэнергии энергосистемы. Семейство этих зависимостей определяет экономические области применения стандартных СРП.

2. Учет конечных устройств электропередачи и потерь холостого хода дает в стоимости передачи электроэнергии некоторую добавку ΔC , которая не зависит от передаваемой мощности и не влияет на соотношения критерияльных параметров ЛЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. П о с п е л о в Г. Е. Элементы технико-экономических расчетов систем электропередач. – Мн.: Вышэйш. шк., 1967.
2. П о с п е л о в Г. Е. Выбор сечения проводов электрических сетей по экономическому фактору // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2002. – № 2. – С. 3–9.
3. А л е к с а н д р о в Г. Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 351 с.
4. П о с п е л о в Г. Е., Н г у е н Б а к Ф у к. Подход к предварительному выбору класса напряжения и сечения проводов при проектировании ЛЭП и исследовании развития электропередач // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1997. – № 11–12. – С. 3–11.

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 20.05.2004