

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭКОНОМИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

К.т.н., доц. Барбашов И.В., к.т.н., доц. Омеляненко Г.В., Кныш А.Е.

*Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт», г. Харьков*

i.v.barbashov@gmail.com

Научный руководитель: к.т.н., доц. Барбашов И.В.

Критерием для выбора сечений проводников линий электропередачи в течение многих лет был принят минимум приведенных затрат. В практике проектирования линий электропередачи массового строительства выбор сечений проводников производился не сопоставительным технико-экономическим расчетом в каждом конкретном случае, а по нормируемым обобщенным показателям – *экономической плотности тока и экономических токовым интервалам.*

В настоящее время в проектной практике Украины указанные методы, согласно «Правил устройства электроустановок. ПУЭ-2017» [1], не применяются и для вновь сооружаемых и реконструируемых ВЛ 35–750 кВ рекомендованы к применению сечения (по алюминию) сталеалюминиевых проводов соответственно равные: 35 кВ – 120 мм²; 110–150 кВ – 240 мм²; 330 кВ – 2×400 мм² и 750 кВ – 5×300 мм².

Но уже в пункте 2.5.86 главы 2.5 «Правил устройства электроустановок» (глава утверждена приказом Министерства топлива и энергетики Украины от 05.01.2006 г. № 3, с изменениями и дополнениями от 29.12.2006 г. № 541, 10.10.2008 г. № 500 и 05.05.2009 г. № 231) для ВЛ 110 кВ, питающих потребителей мощностью до 20 МВт, или предназначенных для выдачи мощности электростанций с количеством часов использования установленной мощности до 2500 (ветровые, газотурбинные пиковые электростанции и т. п.) предусмотрена возможность использования проводов сечением 120 мм². А в пункте 1.3.38 главы 1.3 «Правил устройства электроустановок» (глава утверждена приказом Министерства энергетики и угольной промышленности Украины от 20.07.2014 г. № 469) было введено положение, что в нормальных режимах работы плотности токов неизолированных проводов ВЛ 6–220 кВ не должны, как правило, превышать значений (в зависимости от числа часов использования наибольшей нагрузки за год): для медных проводов – от 1,5 до 2,5 А/мм², для алюминиевых – от 0,6 до 1,3 А/мм².

Такой подход, по нашему мнению, носит отвлеченный от выполнения реальных разработок характер так как не содержит указаний на направления действий в случае его невыполнения:

а) изменение сечения практически неосуществимо из-за его однозначного задания для линий различных классов напряжения;

б) выбор числа цепей, прежде всего, связан с надежностью электроснабжения и экономичностью принимаемых решений;

в) переход к другой ступени номинального напряжения ведет к практически полному пересмотру выполненных разработок по конкретной линии и связанной с ней части электрической сети.

Со временем представленные в «Правилах устройства электроустановок» [1] положения должны быть изменены в пользу полноценного применения адаптированных к современным условиям нормируемых обобщенных экономических показателей. Поэтому рассмотрение принципов разработки методов экономической плотности тока и экономических токовых интервалов, их достоинств и недостатков представляет несомненный методический интерес.

Метод выбора сечений проводников по нормируемым значениям экономической плотности тока [2] основывался на положении, что минимуму функции приведенных затрат

$$З(F) = E_n K + И = E_n K + И_{a.o.p} + И_{\Delta W} \quad (1)$$

соответствует некоторое значение сечения $F_{эк}$.

Экономическая плотность тока определялась в предположении приближенной линейной зависимости стоимости сооружения 1 км линии электрической сети от сечения:

$$K_0 = a + b F, \quad (2)$$

где a – постоянная составляющая стоимости, не зависящая от сечения (затраты на изыскание, проектирование, прокладку дорог, линий связи, подготовку просеки, осушение болот и др.), ден. ед./км; b – коэффициент удорожания, учитывающий изменение стоимости сооружения 1 км линии пропорционально сечению линии (стоимость проводников, опор, арматуры и др.), ден. ед./ $(км \cdot мм^2)$.

Эксплуатационные расходы на амортизацию и обслуживание 1 км линии определялась по формуле:

$$И_{a.o.p} = \alpha_{a.o.p} K_0 = \alpha_{a.o.p} (a + b F), \quad (3)$$

где $\alpha_{a.o.p}$ – ежегодные отчисления на амортизацию, обслуживание и ремонт линии в отн. ед., 1/год:

Стоимость потерь электроэнергии зависит от сечения и определялась для 1 км линии по формуле:

$$\begin{aligned} И_{\Delta W} &= \beta' \Delta W = \beta' \Delta P_{нб} \tau = \beta' (3 I_{нб}^2) R_{л} \tau = \\ &= \beta' (3 I_{нб}^2) (\rho / F) \tau, \end{aligned} \quad (4)$$

где $I_{нб}$ – наибольший ток линии в нормальном режиме, А; ρ – удельное сопротивление материала проводника, Ом·мм²/км; τ – время наибольших потерь, т. е. время за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии за год те же, что и при работе по реальному графику нагрузок, ч/год; β' – удельная стоимость потерь электроэнергии, ден. ед./ $(кВт \cdot ч)$.

С учетом формул (2)–(4) приведенные затраты на 1 км линии составляют:

$$З(F) = (E_n + \alpha_{a.o.p}) (a + b F) + (3 I_{нб}^2) (\rho / F) \tau \beta' 10^{-3} = З_1 + З_2. \quad (5)$$

Дифференцируя $З(F)$ по сечению F и приравнявая производную нулю, можно найти условие минимума функции приведенных затрат:

$$\partial З / \partial F = (E_n + \alpha_{a.o.p}) b - (3 I_{нб}^2) (\rho / F_{эк}^2) \tau \beta' 10^{-3} = 0 \quad (6)$$

откуда

$$F_{\text{эк}}^2 = I_{\text{нб}} \sqrt{\{3 \rho \tau \beta' 10^{-3} / [(E_{\text{н}} + \alpha_{\text{а.о.р}}) b]\}}; \quad (7)$$

$$j_{\text{эк}} = I_{\text{нб}} / F = \sqrt{[(E_{\text{н}} + \alpha_{\text{а.о.р}}) b / (3 \rho \tau \beta' 10^{-3})]}. \quad (8)$$

В свою очередь экономическое сечение определялось по выражению

$$F_{\text{эк}} = I_{\text{нб}} / j_{\text{эк}}, \quad (9)$$

и округлялось до ближайшего стандартного сечения $F_{\text{станд}}$.

Выбор сечения по экономической плотности тока использовался с сороковых годов прошлого столетия и был прогрессивным для своего времени, так как позволял учитывать при выборе сечения не только капитальные затраты на сооружение линий, но и стоимость потерь электроэнергии.

Несмотря на указания достоинства, применение метода экономической плотности тока для выбора сечений ВЛ уже к началу восьмидесятых годов прошлого столетия показало, что его использование приводит к ошибкам, поскольку при разработке этого метода были приняты не вполне обоснованные допущения [3].

Метод выбора сечений, свободный от недостатков метода экономической плотности тока, получил в середине восьмидесятых годов прошлого столетия название – *метод экономических токовых интервалов* [4, 5].

Экономические интервалы токовых нагрузок для выбора сечений проводов определяются следующим образом. Для различных стандартных сечений проводов воздушных линий 35–750 кВ строятся зависимости приведенных затрат на линию от тока $I_{\text{нб}}$ (рис. 1). Для каждого сечения приведенные затраты определяются по выражению (5), которое можно переписать в следующем виде:

$$Z = (E_{\text{н}} + \alpha_{\text{а.о.р}}) K_0 + (3 I_{\text{нб}}^2) R_{\text{л}} \tau \beta'. \quad (10)$$

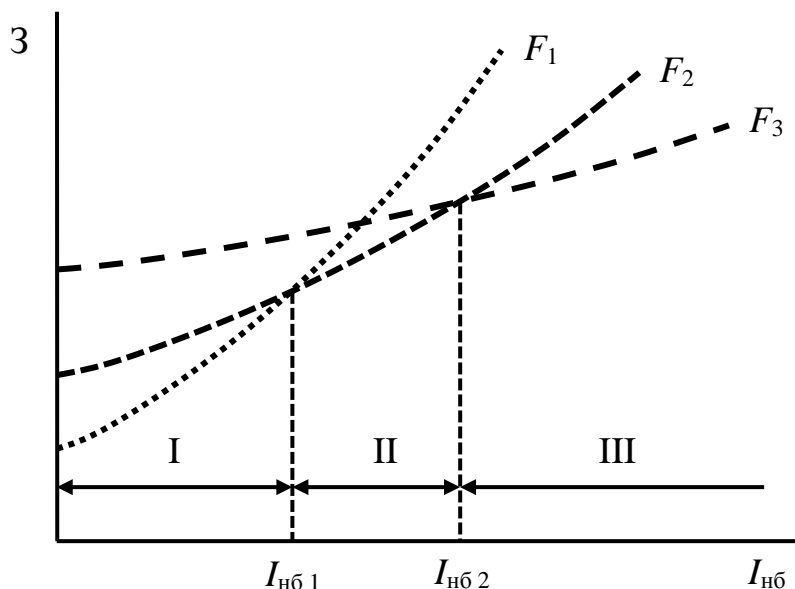


Рисунок 1 – Построение экономических интервалов

На рис. 1 зависимости расчетных затрат показаны для сечений F_1 , F_2 , F_3 ($F_3 > F_2 > F_1$). Постоянная часть затрат соответствует первому слагаемому в формуле (10). Второе слагаемое соответствует стоимости потерь

электроэнергии $I_{\Delta W}$ и зависит от квадрата тока, поэтому кривые приведенных затрат – параболы. Чем больше сечение, тем больше пологость парабол. Точка пересечения кривой F_1 с кривой F_2 определяет значение наибольшего тока $I_{нб}$, при котором приведенные затраты в варианте с сечением F_1 равны приведенным затратам в варианте с сечением F_2 . Если ток в линии меньше $I_{нб}$, то наименьшие затраты соответствуют сечению F_1 , т.е. экономически целесообразно выбрать именно это сечение. Значение тока от нуля до $I_{нб 1}$ – экономический интервал для сечения F_1 . Если ток находится в пределах от $I_{нб 1}$ до $I_{нб 2}$ экономически целесообразным будет сечение F_2 . При токе, большем $I_{нб 2}$, – сечение F_3 .

По нашему мнению, наиболее перспективным методом выбора сечений проводников линий электропередачи следует считать переработанный для современных условий функционирования электроэнергетики Украины метод экономических токовых интервалов. Начальным этапом реализации адаптированного к современным условиям метода экономических токовых интервалов для линий напряжением 110 кВ можно считать технико-экономическое обоснование границы сечений 120 и 240 мм² для интервалов значений числа часов использования наибольшей нагрузки за год – свыше 1000 до 3000, свыше 3000 до 5000 и свыше 5000 ч/год. Разрабатываемые материалы должны учитывать тип опор (одноцепные или двухцепные), материал опор (железобетон или сталь) линий электропередачи, а также районы по гололеду сооружения и эксплуатации этих линий. Аналогичный подход должен быть в дальнейшем распространен на выбор экономических сечений проводников линий электропередачи других номинальных напряжений. При усовершенствовании метода экономических токовых интервалов необходим учет применения новых материалов и конструктивных решений для опор, проводов, изоляторов, линейной арматуры. Также дополнительно должны быть рассмотрены и учтены климатические условия различных регионов Украины (в дополнении к учету районов по гололеду), в которых будут сооружаться и эксплуатироваться линии электропередачи.

Список литературы:

1. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ-2017. Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Харків : Видавництво «Форт», 2017. – 758 с.
2. Правила устройсва электроустановок. – 6-е изд. М. : Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
3. Идельчик В. И. Электрические системы и сети. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др. ; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
5. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 3. В 2 кн. Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии (Под общ. ред. проф. МЭИ : И.Н. Орлова (гл. ред.) и др.). – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 880 с.