

УДК 621.311

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНТЕРВАЛЫ ТОКОВ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Алехнович Д.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Сечения проводов линий электропередачи постоянного и переменного тока напряжением 330 кВ и выше, а также проводников мощных жестких и гибких токопроводов, работающих с большим числом использования максимальной нагрузки, выбираются на основе технико-экономических расчетов [5]. При этом для выбора сечений проводов линий электропередачи могут использоваться экономические интервалы токовых нагрузок [4].

Выбор сечений токопроводящих жил кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) необходимо производить с учетом экономических показателей проектируемой линии электропередачи. В [3] указывается, что при выборе сечения токопроводящих жил (ТПЖ) и экранов «проектом следует определить оптимальный вариант, позволяющий минимизировать затраты на сооружение и эксплуатацию кабельной линии электропередачи». На практике выбор сечения ТПЖ кабелей с изоляцией из СПЭ производится по экономической плотности тока, значения которых для кабелей с пластмассовой изоляцией приведены в [5].

Экономические интервалы можно получить на основе построения графических зависимостей годовых приведенных затрат Z от тока нагрузки I , которые определяются по формуле

$$Z = E \cdot K + 3 \cdot I^2 R \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где E – суммарные отчисления от капиталовложений, отн. ед.;

K – удельная стоимость сооружения линии, тыс. р./км;

I – расчетный ток линии в нормальном режиме, А;

R – активное сопротивление проводников фазы линии, Ом;

τ – время максимальных потерь, ч;

β – средний тариф на электроэнергию, р./кВт.

Суммарные отчисления от капиталовложений определяются по выражению

$$E = E_n + E_a + E_{p.o.}, \quad (2)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (ставка рефинансирования), $E_n = 0,12$;

E_a и $E_{p.o.}$ – соответственно отчисления на амортизацию ($E_a = 0,033$) и текущий ремонт и обслуживание линии ($E_{p.o.} = 0,01$).

При расчете укрупненных капиталовложений в кабельную линию учитывается стоимость кабеля C_k , а также проектных C_p , строительно-монтажных $C_{см}$ и пуско-наладочных работ $C_{пн}$.

Значение C_k принимается по данным изготовителей и поставщиков кабельной продукции. Величина $C_{см}$ оценивается примерно в (25 – 30)%, а $C_{пн}$ – (3 – 5)% от C_k . Стоимость проектных работ может приниматься в размере 10 % от $C_{см}$. В этом случае укрупненные капиталовложения, необходимые для сооружения кабельной линии, определяются по формуле

$$K = C_k + 1,1 \cdot (0,3 C_k) + 0,05 C_k = 1,38 C_k \approx 1,4 C_k, \quad (3)$$

Активное сопротивление проводников фазы линии

$$R = r_0 \cdot l, \tag{4}$$

где r_0 – погонное активное сопротивление кабельной линии, Ом/км;
 l – длина кабельной линии, км.

Приняв $l = 1$ км, получим $R = r_0$. Для кабелей с изоляцией из СПЭ используем значения r_0 при температуре токопроводящих жил 90°C .

Удельная стоимость потерь активной электроэнергии определяется по действующим тарифам. Если предприятие рассчитывается с энергосистемой по двухставочному тарифу, то потери активной электроэнергии в СЭС оцениваются по среднему тарифу, вычисляемому по формуле

$$\beta = a/T_{max} + b, \tag{5}$$

где a – основная ставка тарифа за 1 кВт заявленной максимальной мощности, $a = 266,36 \text{ р./}(кВт \cdot \text{год})$;

b – дополнительная ставка тарифа на электроэнергию, $b = 0,2 \text{ р./кВт} \cdot \text{ч}$;

T_{max} – годовое число часов использования максимума нагрузки, ч.

Для стандартных сечений токопроводящих жил (ТПЖ) кабелей приведенные затраты в зависимости от тока нагрузки представляют семейство пересекающихся параболических кривых (рисунок 1).

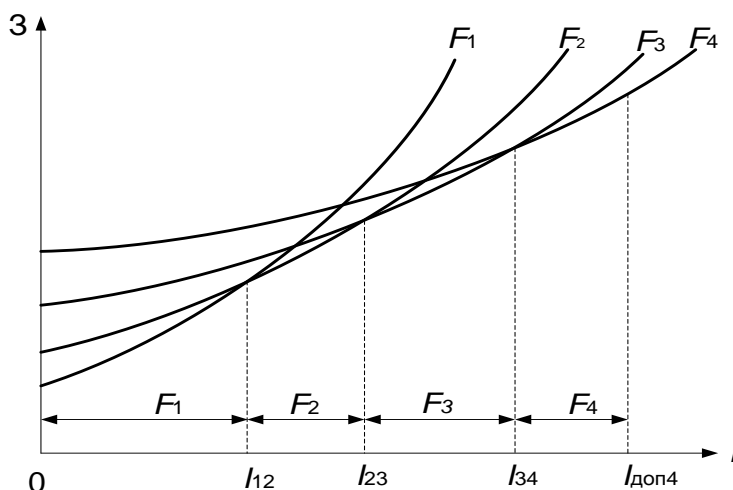


Рисунок 1. Зависимость приведенных затрат от тока линии для разных сечений ТПЖ кабелей

Точки пересечения соседних кривых соответствуют току, при котором приведенные затраты для двух сечений будут одинаковыми. Соответственно абсциссы точек пересечения определяют значения экономических интервалов нагрузок. Из рисунка 1 видно, что сечения проводников F_1-F_4 имеют определенные диапазоны токов, при которых их использование является наиболее выгодным. Например, при токе нагрузки от 0 до значения I_{12} меньшие приведенные затраты будут при использовании сечения F_1 , при токах в интервале $I_{12}-I_{23}$ – сечения F_2 и т.д. Область применения наибольшего сечения F_4 ограничивается его длительно допустимым током по нагреву $I_{доп4}$.

Ток I_{iB} , являющийся верхней границей применения сечения проводника F_i , определяется из условия

$$Z_i = Z_{i+1}. \tag{6}$$

Выразив приведенные затраты Z_i и Z_{i+1} для сечений F_i и F_{i+1} в соответствии с формулой (1), получим равенство (6) в виде

$$E \cdot K_i + 3 \cdot I_{iB}^2 R_i \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = E \cdot K_{i+1} + 3 \cdot I_{iB}^2 R_{i+1} \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где K_i, K_{i+1} – капиталовложения в линию с сечением ТПЖ i и $i+1$ соответственно;

R_i, R_{i+1} – активные сопротивление ТПЖ i и $i+1$ соответственно.

Из равенства (7) получим значение тока

$$I_{iB} = \sqrt{\frac{E(K_{i+1} - K_i)}{3\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}(R_i - R_{i+1})}}. \quad (8)$$

Из формулы (8) следует, что характеристики приведенных затрат линий со смежными сечениями пересекаются лишь в том случае, когда $K_i < K_{i+1}$ и $R_i > R_{i+1}$. Если эти условия не выполняются, то подкоренное выражение имеет отрицательное значение. Так как $R_i > R_{i+1}$ во всех случаях, то непременным условием существования экономического интервала токов для кабельных линий является неравенство $K_i < K_{i+1}$.

При выборе экономических сечений можно отказаться от построения графических зависимостей, подобных приведенным на рисунке 1, и использовать выражение (8) для установления экономических интервалов токов [2].

Произведем иллюстративный расчёт экономических интервалов токовых нагрузок для линий напряжением 10 кВ, выполненных трехжильными кабелями с изоляцией из СПЭ с сечением алюминиевых ТПЖ от 50 до 240 мм². Удельные стоимости кабелей с изоляцией из СПЭ приняты по данным, приведенным в [1]. Стоимостные показатели оцениваем в у.е. по курсу Национального банка РБ по состоянию на 26 марта 2018 г. Значения $T_{max} = 5000$ ч, $\tau = 2900$ ч.

Суммарные отчисления от капиталовложений определяются по выражению (3):

$$E = 0,12 + 0,033 + 0,01 = 0,163.$$

Рассчитаем капиталовложения в у.е. для 1 км линии, выполненной кабелями с сечениями ТПЖ 50 и 70 мм²:

$$K_{50} = 1,4 \cdot 3383 = 4736 \text{ у.е./км}$$

$$K_{70} = 1,4 \cdot 4797 = 6716 \text{ (у.е./км)}$$

Определяем по формуле (5) средний тариф на электроэнергию:

$$\beta = (135,73/5000) + 0,102 = 0,129 \text{ у.е./кВт}\cdot\text{ч.}$$

Принимаем по [2] удельные активные сопротивления ТПЖ кабелей и выполняем расчёт граничного тока по формуле (8), при котором одинаково рационально использование кабелей со смежными сечениями жил:

$$I_{iB} = \sqrt{\frac{0,163 \cdot (6716 - 4736) \cdot 3}{3 \cdot 2900 \cdot 0,129 \cdot 10^{-3} (0,822 - 0,568)}} = 58,241 \text{ (A)}$$

Проведем такой же расчёт для остальных трехжильных кабелей напряжением 10 кВ и сведем результаты в таблицу 1.

Выбор сечений токопроводящих жил кабелей по экономическим интервалам токов является более достоверным, так как учитывает конкретные характеристики кабельных линий электропередачи и особенности потребления электроэнергии объектами, питающихся по линиям.

Таблица 1. Экономические интервалы токовых нагрузок

Марка кабеля, количество и сечение жил, сечение экрана	Затраты на 1 км кабеля, у.е./км	Капиталовложения, у.е./км	Допустимый длительный ток при прокладке в воздухе, А	Экономические интервалы токов, А
АПвП 3x50/16	46790	4736	170	≤58,2
АПвП 3x70/16	49620	6716	210	58,2-72,3
АПвП 3x95/16	52370	8603	253	72,3-94,4
АПвП 3x120/16	53910	10360	288	94,4-140,8
АПвП 3x150/25	55360	13090	322	140,8-153,0
АПвП 3x185/25	56760	15990	364	153,0-198,8
АПвП 3x240/25	58890	20540	422	≥198,8

Выводы

1. Анализ полученных результатов показывает, что предельные значения экономических нагрузок рассмотренных кабелей невелики и значительно меньше длительных допустимых по нагреву токов. В то же время кабели имеют зоны экономических нагрузок, что необходимо учитывать при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий с использованием рассмотренных кабелей.

2. Для выбора экономических сечений токопроводящих жил кабелей разных марок целесообразно разработать алгоритм и компьютерную программу, учитывающие конкретные исходные данные линий электропередачи, особенности электропотребления, подключенных к ним объектов, а также условия нагревания кабелей в нормальных и аномальных режимах.

Литература

1. Кабельные системы [Электронный ресурс]. -2018.-Режим доступа: <https://kabel-s.ru/producer/107/cat/5>. - Дата доступа 28.03.2018
2. Козлов, В.А. Городские распределительные электрические сети / Козлов В.А. – Л.: «Энергия», 1971. 280 с.
3. ТКП 611-2017 (33240). Силовые кабельные линии на напряжение 6-110 кв. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки. - Минск: Мин-во энергетики Республики Беларусь, 2017. – 122 с.
4. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов. Под ред. В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1990. – 383 с.
5. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.