

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.В. Пястолов, Р.В. Шамин
г. Челябинск, ЮУрГУ

Предложена методика оценки необходимости установки трансформаторной подстанции в цехе с малой мощностью потребителей, проведение сравнение с используемой методикой.

Для питания потребителей 0,4 кВ в цехах промышленных предприятий, как правило, устанавливаются трансформаторные подстанции (ТП) с обмоткой высокого напряжения 10 кВ. Эти ТП запитываются от шин 10 кВ главной понизительной подстанции по радиальным или магистральным схемам. Однако, в некоторых случаях, при небольшой мощности потребителей в цехе планируется установка распределительного пункта низкого напряжения (РПН), с запиткой его по сети 0,4 кВ от ТП соседнего цеха.

На кафедре «Системы электроснабжения» ЮУрГУ традиционно принято оценивать целесообразность такой схемы на основе «Правила 15000», суть которого заключается в определении произведения SL , где L - длина кабеля между цехами по трассе линии в метрах; S - мощность, передаваемая по этому кабелю в кВА. Если SL меньше 15000 кВА-м, считается целесообразным установить в рассматриваемом цехе РПН, в противном случае в цехе необходимо запроектировать установку ТП. В связи со значительным изменением цен на электрооборудование и электроэнергию, а также соотношения этих цен, возникает вопрос о правомерности его использования. Во всяком случае, это правило должно быть проверено и если это необходимо скорректировано под современные условия.

Целесообразность установки ТП (вариант 1) или РПН (вариант 2) должна быть обоснована технико-экономически. Затраты на варианты могут быть определены:

$$Z_1 = EK_1 + EK_{10}L + \Delta A_{Л1}C; \quad (1)$$

$$Z_2 = EK_2 + EK_{20}L + \Delta A_{Л2}C, \quad (2)$$

где $E = E_H + E_{AЭ}$ - ежегодные отчисления от капитальных вложений, являющиеся суммой нормативного коэффициента $E_H = 0,12$, а также отчислений на амортизацию и затрат на эксплуатацию $E_{AЭ}$ значения которых принимаются по табл. 10.2 [1];

L - расстояние от РПН или ТП до питающей ТП по трассе линии;

K_1, K_2 - капитальные затраты соответственно на установку ТП и РПН;

K_{10}, K_{20} - капитальные затраты на единицу длины кабельной линии соответственно первого и второго варианта;

$\Delta A_{Л1}, \Delta A_{Л2}$ - потери электроэнергии в питающих линиях;

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{12} \alpha_{\text{мес}} P_{\text{max мес}} K_M}{P_{\text{ср.г}} T_{\text{год}}} + \beta - \text{усредненная за}$$

год стоимость электроэнергии;

α и β - основная (за договоренную мощность) и дополнительная (за потребленную энергию) ставки двухставочного тарифа;

K_M - коэффициент использования максимальной мощности;

$P_{\text{max мес}}$ - максимальная месячная мощность;

$P_{\text{ср.г}}$ - среднегодовая мощность;

$T_{\text{год}} = 8760$ - число часов в году.

При записи уравнений 1 и 2 принято допущение о равенстве потерь электроэнергии в трансформаторах для вариантов 1 и 2.

Очевидно, что при малой длине линии, затраты на вариант 1 больше чем на вариант 2, так как стоимость установки ТП больше стоимости установки РПН. По мере увеличения длины линии или передаваемой мощности разница в затратах уменьшается, так как потери в сети 0,4 кВ превышают потери в сети 10 кВ, и при каком-то критическом значении SL разница в затратах поменяет знак.

Определим, от чего зависит и как определяется это критическое значение.

Потери в питающей линии:

$$\Delta A = 3I^2 LR_0 T_{\Gamma},$$

где $I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$ - ток в линии;

$$R_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{\rho i}{I} - \text{километрическое значение}$$

сопротивления линии;

ρ - удельное сопротивление материала проводника;

i - плотность тока в кабеле;

T_{Γ} - годовое число часов использования максимальной нагрузки.

Окончательно потери в линиях для вариантов 1 и 2

$$\Delta A_{Л1} = \sqrt{3} \frac{SL}{U_1} \rho i T_{\Gamma};$$

$$\Delta A_{Л2} = \sqrt{3} \frac{SL}{U_2} \rho i T_{\Gamma}.$$

При этом полагаем, что кабели в обоих вариантах выполнены из одного материала.

Введем во вторые слагаемые выражений 1 и 2 значение мощности S , для чего осуществим приведение стоимости единицы длины кабелей (K_{10} и K_{20}) к стоимости единицы сечения и длины кабеля – $K_{ол}$.

$$K_{10} = K_{ол} F_1 = K_{ол} \frac{S}{\sqrt{3}U_1 i};$$

$$K_{20} = K_{ол} F_2 = K_{ол} \frac{S}{\sqrt{3}U_2 i},$$

где F_1 и F_2 – сечения кабелей соответственно в первом и втором вариантах.

С учетом проделанных выкладок выражения 1 и 2 перепишутся

$$Z_1 = EK_1 + EK_{ол} \frac{S}{\sqrt{3}U_1 i} + \sqrt{3} \frac{SL}{U_1} \rho i T_{Г} C; \quad (3)$$

$$Z_2 = EK_2 + EK_{ол} \frac{S}{\sqrt{3}U_2 i} + \sqrt{3} \frac{SL}{U_2} \rho i T_{Г} C. \quad (4)$$

Критическое значение произведения SL можно найти, приравняв выражения 3 и 4. После несложных преобразований получим

$$SL_{кр} = \frac{E(K_1 - K_2)}{\frac{EK_{ол}}{\sqrt{3}i} \left(\frac{1}{U_2} - \frac{1}{U_1} \right) + \sqrt{3} \rho T_{Г} i C \left(\frac{1}{U_2} - \frac{1}{U_1} \right)}. \quad (5)$$

Проведем расчеты в ценах 2004 года, и при условии, что выбор кабелей проведен по экономической плотности тока.

С учетом цен на кабельную продукцию [2] и монтаж линии среднее значение $K_{ол}$ составляет 3450 руб.

Стоимость электроэнергии при значениях $\alpha = 133,39$ руб./кВт/мес и $\beta = 0,746$ руб./кВт·ч и при условии, что $P_{\max \text{ мес}}$ и $a_{\text{мес}}$ равноценны по месяцам, составляет $C = 0,929$ руб./кВт·ч. А с учетом НДС $C = 0,929 \cdot 1,2 = 1,11$ руб./кВт·ч.

Стоимости электрооборудования и трансформаторов типа ТМЗ, входящие в K_1 и K_2 принимаем по [2].

При запитке РНП от соседней ТП в большинстве случаев необходимо увеличивать мощность трансформатора питающей ТП. В этом случае разницу капитальных затрат на установку ТП и РПН можно расписать:

$$K_1 - K_2 = K_{вв/нв} + K_{Т2} + K_{Т1} - K'_{Т1}, \quad (6)$$

где $K_{вв/нв}$ – разница стоимости оборудования 10 кВ и 0,4 кВ в вариантах 1 и 2;

$K_{Т2}$ – стоимость трансформатора в питаемом цехе (вариант 1);

$K_{Т1}$ – стоимость трансформатора питающей подстанции в случае установки питаемого цеха ТП (вариант 1);

$K'_{Т1}$ – стоимость трансформатора питающей ТП при установке питаемого цеха РПН (вариант 2).

В выражении 6 все стоимости даны с учетом монтажа оборудования.

Анализ стоимости оборудования показал, что величина $K_{вв/нв} \approx 13700$ руб.

При использовании трансформаторов ТМЗ мощностью от 250 кВА до 1600 кВА значение суммы $K_{Т2} + K_{Т1} - K'_{Т1}$ лежит в диапазоне от 19,55 тыс. руб. до 23 тыс. руб. Поскольку разница небольшая, в расчеты можно заложить среднее значение указанной суммы, которое составляет 20,32 тыс. руб.

Проведенные расчеты показывают, что значение $SL_{кр}$ составляет:

- при однофазной работе предприятия ($T_{Г} = 2085$ ч, $i_3 = 1,6$ А/мм² [3]) – 6500 кВА·м;

- при двухфазной работе предприятия ($T_{Г} = 4176$ ч, $i_3 = 1,4$ А/мм² [3]) – 4600 кВА·м;

- при трехфазной работе предприятия ($T_{Г} = 6258$ ч, $i_3 = 1,2$ А/мм² [3]) – 3800 кВА·м;

Снижение значения $SL_{кр}$ по сравнению с принятым в «Правиле 1500» объясняется, по-видимому, изменением цен на электрооборудование и особенно повышением цен на электроэнергию и как следствие значительным увеличением стоимости потерь в кабельных линиях 0,4 кВ.

Литература

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. *Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. - 4-е изд. перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1989. - 608 с.*
2. Прайс: *Информация о ценах на товары и услуги. - Челябинск: ООО ИА «Прайс», 2004. - NQ 15.*
3. *Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НИЦЭНАС, 1999.*

Пястолов Владимир Викторович, доцент кафедры «Системы электроснабжения» ЮУрГУ, кандидат технических наук, доцент. Окончил в 1977 г. ЧПИ по специальности «Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства». Область научных интересов связана с электроснабжением и аварийными режимами силовых преобразователей.

Шамин Роман Викторович, главный энергетик ООО ТД «УРАЛКРАН», г. Челябинск. Окончил в 2003 г. ЮУрГУ по специальности «Электроснабжение». Область научных интересов связана с электроснабжением и электромеханикой.