

УДК 621.311

Оптимизация разомкнутой электрической сети по дискретным параметрам

Плехов А. В.

Научный руководитель – ФУРСАНОВ М.И., д.т.н., профессор

В настоящее время в электроэнергетической отрасли повсеместно требуется проводить мероприятия по снижению потерь, из которых ввиду ограниченности денежных средств необходимо выбрать наиболее эффективные. В данной работе разработаны основные теоретические положения и принципы отыскания оптимального состояния электрической сети по дискретным параметрам. Для этой цели на основе теории чувствительности предложены соответствующие аналитические критерии, позволяющие ранжировать мероприятия по снижению потерь по степени их эффективности [1].

В общем виде суммарные приведенные затраты по замене оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z = E_n \cdot K + I, \quad (1)$$

где E_n – ссудный (банковский) процент; K – капитальные затраты на внедрение мероприятий; I – ежегодные издержки (себестоимость продукции).

Затраты K на капитальный ремонт и реконструкцию электрических сетей или их элементов складываются из четырех составляющих:

$$K = K_0 + K_{CM} + K_{DM} - K_L, \quad (2)$$

где K_0 – стоимость нового оборудования; K_{CM} – стоимость строительно-монтажных работ; K_{DM} – стоимость демонтажных работ; K_L – ликвидная стоимость оборудования, пригодного для использования на других объектах.

Все перечисленные составляющие затрат можно представить в виде линейных уравнений регрессии. Для 1 км провода эти выражения запишутся следующим образом:

$$K_{0F} = a_{0F} \cdot F + b_{0F}, \quad (3)$$

$$K_{CMF} = a_{CMF} \cdot F + b_{CMF}, \quad (4)$$

$$K_{DMF} \cong k_{DM} \cdot K'_{CMF} = k_{DM} (a_{CMF} \cdot F' + b_{CMF}), \quad (5)$$

$$K_{LF} = K'_{0F} (1 - \alpha_F) = (a_{0F} \cdot F' + b_{0F}) (1 - \alpha_F), \quad (6)$$

где F' – площадь сечения демонтируемого провода.

Из выражений (2) – (6) находим:

$$K_F = (a_{0F} + a_{CMF})F + (k_{DM} a_{CMF} - a_{0F} (1 - \alpha_F))F' + b_{0F} \cdot \alpha_F + b_{CMF} (1 + k_{DM}). \quad (7)$$

Изменение ежегодных издержек, обусловленных использованием капитальных вложений K , включают в себя издержки на амортизацию I_a , обслуживание сетей I_0 и затраты на потери электроэнергии $Z_{\Delta W}$:

$$I = I_a + I_0 + Z_{\Delta W}. \quad (8)$$

Издержки на амортизацию (капитальный ремонт и восстановление первоначальной стоимости объекта) и обслуживание сетей (текущий ремонт, заработная плата, производственные и не производственные расходы) можно определить в процентах от капитальных вложений:

$$I_a = p_a \cdot (K_0 - K'_0), \quad (9)$$

$$I_0 = p_0 \cdot (K_0 - K'_0), \quad (10)$$

Затраты на потери электроэнергии:

$$Z_{\Delta W} = \Delta P_h \cdot \tau \cdot \beta, \quad (11)$$

где ΔP_h – изменение мощности нагрузочных потерь в сети (при увеличении потерь со знаком плюс, при уменьшении – минус); τ – время наибольших потерь; β – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Из выражений (3), (8) – (11) получаем:

$$\begin{aligned} I_F &= (p_{aF} + p_{0F}) \left[(a_{0F} \cdot F + b_{0F}) - (a_{0F} \cdot F' + b_{0F}) \right] + \Delta P \cdot \tau \cdot \beta = \\ &= (p_{aF} + p_{0F}) a_{0F} (F - F') + \Delta P \cdot \tau \cdot \beta. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя выражения (7) и (12) в (1), для линии длиной l в результате получим:

$$\begin{aligned} Z_F &= \left[E_h (a_{0F} + a_{CMF}) + a_{0F} (p_{aF} + p_{0F}) \right] F \cdot l + \\ &+ \left[E_h (k_{DM} a_{CMF} - a_{0F} (1 - \alpha_F)) - a_{0F} (p_{aF} + p_{0F}) \right] F' \cdot l + \\ &+ E_h \left[b_{0F} \cdot \alpha_F + b_{CMF} (1 + k_{DM}) \right] \cdot l + \Delta P \cdot \tau \cdot \beta. \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогичное выражение получаем и для трансформаторов:

$$\begin{aligned} Z_S &= \left[E_h (a_{0S} + a_{CMS}) + a_{0S} (p_{aS} + p_{0S}) \right] S_{ном} + \\ &+ \left[E_h (k_{DM} a_{CMS} - a_{0S} (1 - \alpha_S)) - (p_{aS} + p_{0S}) a_{0S} \right] S'_{ном} + \\ &+ E_h \left[b_{0S} \cdot \alpha_S + b_{CMS} (1 + k_{DM}) \right] + (\Delta P_x T + \Delta P_h \tau) \cdot \beta. \end{aligned} \quad (14)$$

где ΔP_x – изменение мощности потерь холостого хода в сети; T – расчетный период.

Чтобы определить искомый коэффициент эластичности Z_F к изменению сечения провода F необходимо найти частную производную функции $Z_F(F)$ по F . В функцию $Z_F(F)$ входит переменная ΔP – потери в линии:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} \cdot \frac{\rho l}{F}, \quad (15)$$

где S – мощность в начале линии; U – напряжение в начале линии; ρ – удельное сопротивление материала провода; l – длина линии.

Из выражений (13) и (15), получим:

$$\frac{\partial Z_F}{\partial F} \cdot \frac{F}{Z_F} = \frac{\left[E_h (a_{0F} + a_{CMF}) + a_{0F} (p_{aF} + p_{0F}) \right] F - \frac{S^2}{U^2} \cdot \frac{\rho}{F} \cdot \tau \cdot \beta}{E_h \cdot \left(\left[a_{0F} \alpha_F + (1 + k_{DM}) a_{CMF} \right] F + \left[b_{0F} \cdot \alpha_F + b_{CMF} (1 + k_{DM}) \right] \right)}. \quad (16)$$

Аналогичную формулу можно вывести для трансформаторов. При этом потери холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе представляются в виде линейных уравнений регрессии:

$$\Delta P_x = a_{xS} \cdot S_{ном} + b_{xS}, \quad (17)$$

$$\Delta P_\kappa = a_{\kappa S} \cdot S_{ном} + b_{\kappa S}, \quad (18)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

Потери электроэнергии в трансформаторе:

$$\Delta W = \Delta P_x \cdot T + \Delta P_\kappa \cdot \left(\frac{S}{S_{ном}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (19)$$

Подставляя (17) и (18) в (19), получим:

$$\Delta W = (a_{xS} \cdot S_{ном} + b_{xS}) \cdot T + (a_{\kappa S} \cdot S_{ном} + b_{\kappa S}) \cdot \left(\frac{S}{S_{ном}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (20)$$

Из выражений (14) и (20) находим частную производную функции Z_S по $S_{ном}$:

$$\frac{\partial Z_S}{\partial S_{ном}} \cdot \frac{S_{ном}}{Z_S} = \frac{\left(\left[E_n (a_{0S} + a_{CMS}) + a_{0S} (p_{aS} + p_{0S}) \right] S_{ном} + \left[a_{xS} S_{ном} T - (a_{\kappa S} S_{ном} + 2b_{\kappa S}) \left(\frac{S}{S_{ном}} \right)^2 \tau \right] \beta \right)}{E_n \cdot \left(\left[a_{0S} \alpha_S + (1 + k_{DM}) a_{CMS} \right] S_{ном} + \left[b_{0S} \cdot \alpha_S + b_{CMS} (1 + k_{DM}) \right] \right)}. \quad (21)$$

Таким образом, по формулам (16) и (21) можно определить коэффициенты эластичности для всех линий и трансформаторов в сети. Коэффициенты эластичности позволяют найти участок сети, изменение параметра которого оказывает наиболее сильное влияние на ее стоимость. Мероприятия по замене данных параметров и будут самыми эффективными для данной сети.

Литература

1. Фурсанов М. И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. – Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005.