

МОДЕЛЮВАННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІНИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З УРАХУВАННЯМ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Бардик Є.І., к.т.н., доц., Білокур В.О., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. Існуючий на сьогоднішній день значний знос основних фондів України сягає 50%: обладнання на електростанціях – 70%, будівель і споруд – 40%, повітряних ліній електропередач – 40%, що суттєво підвищує рівень аварійності в ЕЕС. Недостатній рівень інвестування в електроенергетичну галузь, недофінансування технічного переозброєння може призвести до порушення надійності електропостачання споживачів та суттєвого спаду виробництва. Правильним варіантом рішення цієї задачі є повномаштабне, комплексне технічне переозброєння, яке ґрунтується на сучасних технологіях, впровадження високонадійного обладнання нового покоління, ефективного формування джерел фінансування і використанні інвестиційних коштів. Незважаючи на очевидну необхідність і пріоритетність інвестицій існують певні труднощі, пов'язані з обмеженням їх об'єму, економічної ефективності і доцільності.

Таким чином в силу вказаних причин актуальною є проблема економічної оцінки доцільності подальшої експлуатації обладнання в наднормативні терміни і вибору періоду його заміни. Це дасть можливість вирішити задачу технічного переозброєння і обґрунтувати залучення державних і приватних інвестицій в електроенергетичну галузь.

Постановка задачі. Відомо, що після проходження електрообладнанням нормативного терміну і подальшій його наднормативній експлуатації спостерігається збільшення його пошкоджуваності і відмов внаслідок старіння, що приводить до значного зростання витрат на його ремонт. При досягненні граничного терміну експлуатації, який приблизно дорівнює подвоєній величині нормативного терміну можливий аварійний вихід з ладу обладнання з подальшими неприйнятними збитками як для енергопостачальної компанії так і для споживача.

Разом з цим, як показує практика експлуатації силові трансформатори з терміном експлуатації 25 і більше років можуть виконувати свої функції. Необхідність продовження терміну експлуатації силових трансформаторів понад установленого терміну може бути викликана різними причинами: відсутність необхідних фінансових коштів в енергокомпанії; несприятливим інвестиційним кліматом; можливістю зростання цін на оптовому і роздрібному ринках; частковою модернізацією обладнання.

Але продовження його терміну експлуатації не може бути довготривалим. У випадку значного перевищення витрат на експлуатацію обладнання в порівнянні з економічною віддачею від нього доцільно провести його заміну, в іншому випадку енергокомпанія буде нести значні збитки.

Існуючі на сьогоднішній день техніко – економічні моделі з використанням яких виконуються розрахунки ефективності заміни або продовження терміну експлуатації використовують паспортні та нормативні значення розрахункових параметрів, що не відповідає дійсності, оскільки на протязі терміну експлуатації вони значно змінюються. Значно ефективнішою є економічна модель функціонування силового трансформатора зі значним терміном експлуатації, яка використовує реальні статистичні дані, перш за все параметрів потоку відмов, терміну відновлення та витрат на відновлення.

Мета роботи. Побудова економічної моделі оцінки ефективності заміни силових трансформаторів.

Матеріали та результати досліджень. Згідно з [3] сумарні річні дисконтні витрати NPV , для оцінки заходів щодо модернізації енергокомпанії (мережі) за рахунок заміни силового трансформатора визначаються:

$$NPV = \sum_{t=0}^T C_t \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = C_0 + \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+E)^t},$$

де T – прийнятий розрахунковий період; C_t – реальні річні витрати; C_0 – витрати на реалізацію заходів в початковий момент $t = 0$; E – ставка дисконту.

Сумарні річні витрати C_t у випадку реалізації заходу можна визначити:

$$C_t = C_{kt} + C_{ekt} + C_{Rvt} + Z_t,$$

де C_{kt} – капітальні витрати на реалізацію заходу (відрахування за кредитним вкладенням); C_{ekt} – експлуатаційні витрати на амортизацію, ремонт і обслуговування; C_{Rvt} – змінні експлуатаційні витрати для компенсації витрат електроенергії в трансформаторі; Z_t – збиток від недовідпущеної енергії споживачам.

При цьому витрати на амортизацію, поточний ремонт і обслуговування C_{ekt} та змінні експлуатаційні витрати для компенсації витрат електроенергії в трансформаторі визначаються:

$$C_{ekt} = \frac{p_a + p_t}{100} \cdot k + \frac{0,01 \cdot p_r \cdot t}{100} \cdot k,$$

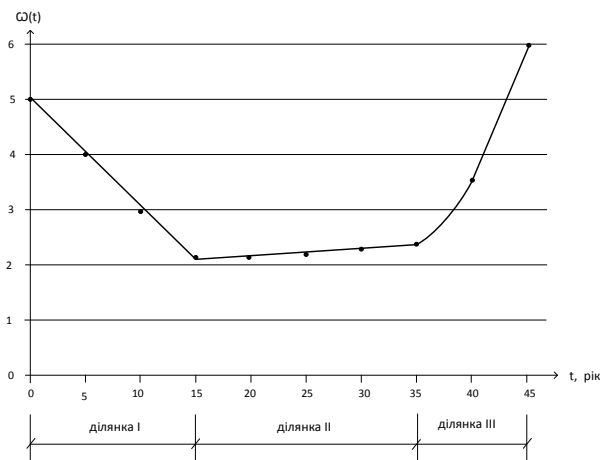
$C_{Rvt} = k \cdot (\Delta P_{\text{нх}} + \Delta P_{\text{н}}) \cdot \beta_1 + k \cdot (\Delta W_{\text{нх}} + \Delta W_{\text{н}}) \cdot \beta_2 = k \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2)$,
де k – вартість нового силового трансформатора; p_a, p_r – процентні відрахування від капітальних витрат на амортизацію і на поточний ремонт та обслуговування відповідно; $k = 1 + 0,01 \cdot t$ – коефіцієнт, який враховує підвищення витрат на поточний ремонт і обслуговування зі збільшенням терміну експлуатації; $P_{\text{нх}}, P_{\text{н}}, P_{\Sigma}$ – витрати потужності в силовому трансформаторі в режимі неробочого ходу, навантажувальні витрати і сумарні витрати, кВт; $W_{\text{нх}}, W_{\text{н}}, W_{\Sigma}$ – витрати енергії в режимі неробочого ходу, навантажувальні витрати і сумарні витрати електроенергії в силовому трансформаторі, кВт · год; β_1 – тариф на потужність, у. о./кВт; β_2 – тариф на електроенергію, у. о./(кВт · год).

Річні збитки Z_t від недовідпуску електроенергії споживачам складає:

$$Z_t = Z_a + Z_{\text{пр}} = P_a \cdot W_a \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{\text{пр}} \cdot W_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} \cdot \alpha_2,$$

де $Z_a, Z_{пр}$ – збитки від простою СТ в результаті аварії і планового ремонту; $P_a, P_{пр}$ – кількість електричної потужності, що недовідпущена споживачам в результаті аварійних і планових відключень СТ; $T_a, T_{пр}$ – середні терміни аварійного і планового ремонту СТ в годинах; $W_a, W_{пр}$ – середня частота випадкових відмов і планових ремонтів, $\frac{1}{\text{рік}}$; α_1, α_2 – питомі збитки від аварійного і планового простою СТ, у. о./ (кВт · год).

На рис.1 наведено залежність потоку відмов мережевих трансформаторів. Аналогічні залежності для всіх ділянок напруження представленні в [3] є такими: $2 \cdot t_1 - t_2$. В подальшому параметри потоку відмов W_a на кожному інтервалі в один рік приймається рівним середньому значенню.



Ділянка I:

$$W(t) = a_1 \cdot t + a_2$$

Ділянка II:

$$W(t) = a_3 \cdot t + a_4$$

Ділянка III:

$$W(t) = a_5 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + a_6 \cdot t + a_7$$

Де $a_1 - a_7$ - постійні коефіцієнти

Рисунок1 Залежність параметра потоку відмов $W(t)$ мережевих трансформаторів від терміну напрувань

Враховуючи вищесказане, величина річних витрат C_t :

$$C_t = C_{kt} + \frac{p_a + k \cdot p_r}{100\%} \cdot k + k \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2) + P_a \cdot W_a(t) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{пр} \cdot W_{пр} \cdot T_{пр} \cdot \alpha_2$$

Сумарні річні дисконтні витрати будуть визначатися:

$$NPV = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \cdot \left[C_{kt} + \frac{p_a + k \cdot p_r}{100\%} \cdot k + k \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2) + P_a \cdot W_a(t) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{пр} \cdot W_{пр} \cdot T_{пр} \cdot \alpha_2 \right]$$

Після спрощення ($C_{kt} = 0$) вираз для визначення NPV має вигляд:

$$NPV = C_0 + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \cdot \left[\frac{p_a}{100} \cdot k + (1 + 0.01 \cdot t) \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2) + \frac{p_r}{100} \cdot k + P_a \cdot W_a(t) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{пр} \cdot W_{пр} \cdot T_{пр} \cdot \alpha_2 \right]$$

По отриманій економічній моделі функціонування тривало експлуатуемого трансформатора можна визначити в який момент часу заміна трансформатора з відомим терміном роботи і навантаженням буде найбільш ефективною.

Витрати C_0 на заміну трансформатора на новий на протязі року визначаються:

$$C_0 = k + C_d + C_M - C_L,$$

де C_d – вартість робіт по демонтажу трансформатора на підстанції, у.о.; C_M – вартість будівельно монтажних робіт при встановленні нового трансформатора; C_L – ліквідна вартість установленого трансформатора, у.о..

Для визначення ефективності заміни в розглядаємий рік експлуатації трансформатора необхідно порівняти значення NPV для двох варіантів розвитку подій:

1. СТ експлуатується від року t_x до кінця терміну експлуатації $t_{гп}$, а потім замінюється на новий.

2. Новий СТ встановлюється в рік t_x .

Виходячи з умови співставлення порівнювальних варіантів період розрахунку складає $(t_{гп} - t_x)$ років.

Сумарні річні дисконтовані витрати на експлуатацію нового трансформатора $NPV1$ приведені до року заміни трансформатора t_x визначаються:

$$NPV1 = C_0 + \sum_{t=1}^{t_x} \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \times \left[\frac{p_a}{100} \cdot k + (1 + 0.01 \cdot t) \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2 + \frac{p_r}{100} \cdot k) + P_a \cdot W_a(t) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{пр} \cdot W_{пр} \cdot T_{пр} \cdot \alpha_2 \right].$$

Сумарні річні витрати на експлуатацію старого трансформатора $NPV2$ приведені до t_x складають:

$$NPV2 = \sum_{t=1}^{t_x} \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \cdot \left[\frac{p_a}{100} \cdot k + P_a \cdot W_a \cdot (40 - t_x + t) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + P_{пр} \cdot W_{пр} \cdot T_{пр} \cdot \alpha_2 + (1 + 0,01) \cdot (40 - t_x + t) \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2 + \frac{p_r}{100} \cdot k) \right] + \frac{C_0}{(1+E)^{t_x-1}}.$$

Перевищення величини $NPV2$ над $NPV1$ ($\Delta NPV > 0$) визначає доцільність заміни СТ:

$$\Delta NPV = \sum_{t=1}^{t_x} \frac{1}{(1+E)^{t-1}} \left[0,01(40 - t_x) \cdot (\Delta P_{\Sigma} \cdot \beta_1 + \Delta W_{\Sigma} \cdot \beta_2 + \frac{p_r}{100} \cdot k) + P_a \cdot (W_a \cdot (40 - t_x + t) - W_a(t)) \cdot T_a \cdot \alpha_1 + \frac{C_0}{(1+E)^{t_x-1}} + \frac{C_0}{(1+E)^{t-1}} - C_0 \right].$$

Висновки: 1. Обґрунтована необхідність врахування реальних змін параметрів технічного стану трансформаторів в задачах визначення оптимальних термінів їх заміни. 2. Запропонована техніко – економічна модель визначення ефективності терміну заміни силових трансформаторів енергосистем.

Перелік посилань

1. Свешникова С.В. Расчет предельного срока службы оборудования электрических сетей «Известие вузов. Электромеханика.» – 2006. - №6. – с.41 – 44.
2. Экономика промышленности. Учеб. Пособие. Т.2 Экономика и управление энергообъектами. Дод. ред. А.И. Барановского. – М. – 1998.
3. Спотар О.С. Индифікація параметрів функцій розподілу ймовірності відмов електрообладнання для оцінки експлуатаційного ризику електроенергетичних систем// «Відновлювана енергетика ХХІ століття». – АР Крим, 2012 р. с. 102 – 106.