

ПОЛНАЯ СТОИМОСТЬ ВЛАДЕНИЯ СИЛОВЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ

АВТОР:

С.В. МАКАРОВ,
ООО «СТРОКАТ»

Как выбрать лучший силовой трансформатор требуемого конструктивного исполнения? На первый взгляд, критерий выбора — это цена самого трансформатора. Но такой критерий не учитывает стоимость эксплуатации трансформатора. Оценка такой стоимости — сложная, нетривиальная задача.

Ключевые слова: полная стоимость владения; дисконтированная стоимость; потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора.



Современный силовой трансформатор с масляной изоляцией в производстве

ВВЕДЕНИЕ

В начале проектирования силового трансформатора всегда возникает проблема выбора наиболее рационального варианта конструкции. Рассмотрим вопрос выбора такого варианта с позиции минимизации полной стоимости владения силовым трансформатором.

Известно [1], что полная стоимость жизненного цикла трансформатора с учетом стоимости эксплуатации за весь срок службы состоит из:

- продажной стоимости трансформатора;
- суммарных затрат на транспортировку и монтаж на месте эксплуатации;
- стоимости профилактических работ и обслуживания на протяжении рассматриваемого срока службы;
- стоимости потерь в трансформаторе.

Варьируя стоимость активных материалов в трансформаторе и стоимость потерь, можно выбрать вариант, который был бы наиболее выгоден как для потребителя, так и для производителя.

ПОЛНАЯ ДИСКОНТИРОВАННАЯ СТОИМОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРА

Полную дисконтированную стоимость владения трансформатора без учета стоимости обслуживания, которые можно принять условно постоянными на протяжении срока службы, можно выразить следующей формулой:

$$C_n = C_{\text{ц}} + k_0 P_0 + k_n P_n,$$

где $C_{\text{ц}}$ — первоначальные разовые затраты на приобретение трансформатора, включающие продажную стоимость трансформатора и суммарные затраты на доставку и монтаж, руб.;

P_0 — потери холостого хода трансформатора, кВт;

P_n — нагрузочные потери трансформатора при номинальной нагрузке, кВт;

k_0 — удельная дисконтированная стоимость потерь холостого хода, руб./кВт;

k_n — удельная дисконтированная стоимость нагрузочных потерь, руб./кВт.

Основой расчета является оценка коэффициентов k_0 и k_n . Если принять стоимость электроэнергии за срок службы трансформатора постоянной, удельную дисконтированную стоимость потерь холостого хода можно вычислить следующим образом:

$$k_0 = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C_{\text{кВт.час}} \cdot T_p,$$

где i — норма процента доходности, принимаемая постоянной для всего срока службы, %;

$C_{\text{кВт.час}}$ — стоимость электроэнергии на момент расчета, руб./кВт.час;

n — срок службы трансформатора, лет;

T_p — количество часов работы трансформатора в году, час/год.

Удельная дисконтированная стоимость нагрузочных потерь зависит от степени нагрузки трансформатора и может быть вычислена как

$$k_n = k_0 \cdot (I_{\text{з}}/I_n)^2,$$

где $I_{\text{з}}$ — эквивалентный ток нагрузки трансформатора;

I_n — номинальный ток нагрузки трансформатора.

Отношение токов существенно меняется в зависимости от области применения трансформатора (табл. 1).

Учитывая это, можно сказать, что нагрузочные потери в блочных трансформаторах существенно дороже, чем потери в распределительных трансформаторах.

В качестве примера рассчитаем удельную капитализированную стоимость нагрузочных потерь при следующих параметрах $n = 25$ лет; $C_{\text{кВт.час}} = 2$ руб./кВт.час; $T_p = 8736$ час. Принимая процент доходности в пределах 6–8%, можно сказать, что удельная капитализированная стоимость потерь может изменяться в следующих пределах (табл. 2).

Расчет полной стоимости владения трансформатором позволяет сравнить несколько вариантов трансформатора аналогичных

ОТНОШЕНИЕ ТОКОВ

Область применения	$I_{\text{з}}/I_n$
Блочные трансформаторы электростанций	0,9
Трансформаторы подстанций промышленных предприятий	0,7
Трансформаторы городских подстанций	0,7

Таблица 1

по мощности, но с различной ценой и уровнем потерь электроэнергии. Разница в полной стоимости владения для двух вариантов исполнения трансформатора, которую можно рассматривать как экономический эффект, составит:

$$\Delta C_n = \Delta C_u + k_0 \Delta P_0 + k_n \Delta P_n,$$

где ΔP_0 — разница потерь холостого хода между вариантами, кВт;

ΔP_n — разница нагрузочных потерь, кВт;

ΔC_u — разница в цене трансформатора, руб.

С учетом капитализации с заданной нормой сложного процента доходности i экономический эффект от снижения полной стоимости владения трансформатором в конце срока службы составит:

$$\Delta C_n = (\Delta C_u + k_0 \Delta P_0 + k_n \Delta P_n) \cdot (1+i)^n \text{ [руб.]}$$

Срок окупаемости вложений (в годах):

УДЕЛЬНАЯ КАПИТАЛИЗИРОВАННАЯ СТОИМОСТЬ ПОТЕРЬ

Для потерь холостого хода, тыс. руб./кВт	182,6–219,9
Для нагрузочных потерь, с коэффициентом загрузки 0,7, тыс.руб./кВт	90–107,7
Для нагрузочных потерь, с коэффициентом загрузки 0,9, тыс.руб./кВт	148,7–178

Таблица 2

$$N = \log_{1+i} \left(\frac{C_{\text{кВт.час}} \cdot T_p \cdot (\Delta P_0 + \Delta P_n \left(\frac{I'}{I_n}\right)^2 \cdot i)}{\Delta C_u \cdot i - C_{\text{кВт.час}} \cdot T_p \cdot (\Delta P_0 + \Delta P_n \left(\frac{I'}{I_n}\right)^2)} \right)$$

Расчет полной стоимости владения трансформатором можно также применить для рассмотрения вариантов, связанных с модернизацией существующих трансформаторов, срок службы которых составляет более 25 лет, с заменой их на трансформаторы современной конструкции со сниженным уровнем потерь электроэнергии.

Кроме того, возникают вопросы по повышению мощности транс-

форматоров, за счет модернизации их системы охлаждения путем увеличения ее мощности. Рассмотрим расчет суммарного экономического эффекта, получаемого при повышении мощности трансформатора (до 16 МВА) с модернизированной системой охлаждения путем увеличения мощности системы охлаждения и при покупке более мощного трансформатора (25 МВА) (рис. 1).

Как видно из рисунка, при работе на мощности 20,8 МВА более мощный трансформатор окупает себя за 15 лет, а при нагрузке 25,6 МВА за 8 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет полной стоимости владения трансформатором с учетом дисконтированной стоимости потерь холостого хода и нагрузочных потерь и капитализации с заданной нормой сложного процента доходности для расчетного срока службы позволяет произвести более точную оценку экономической эффективности вложений, связанных с закупкой силового трансформатора и выбором вариантов его модернизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С. Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. — 616 с.

СУММАРНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

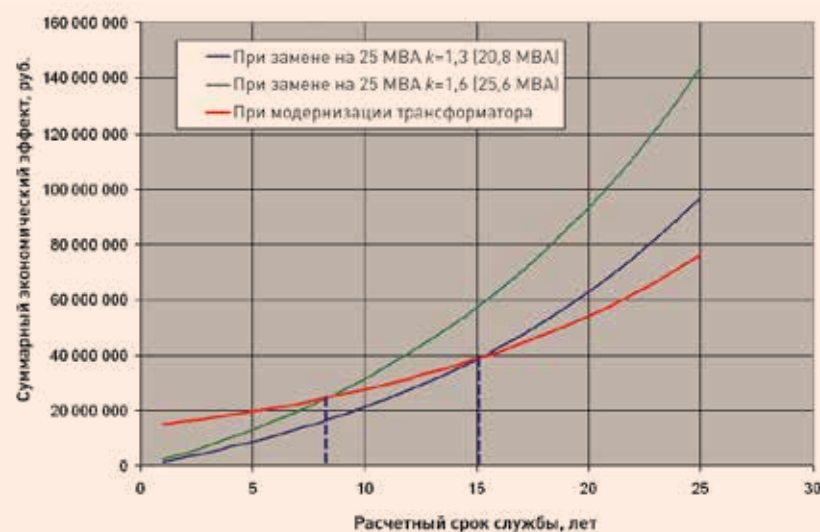


Рис. 1

ARWE

ВЫСТАВКА-КОНФЕРЕНЦИЯ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ МИРОВОЙ ЭНЕРГИИ

14-15 апреля
2017, г. Сочи

www.arwe-expo.ru