

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ И УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Канд. техн. наук ПОТРЕБИЧ А. А.

ДонОРГРЭС

В настоящее время все большее значение приобретает определение реального уровня технических потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем для выбора мероприятий по их снижению [1]. На наш взгляд, в этом случае нужно учитывать также динамику изменения величины и структуры потерь электроэнергии за последние 8–10 лет, так как из-за значительного снижения промышленного производства резко упала нагрузка большинства распределительных трансформаторов и линий 6–10–35–110 кВ ПЭС, что привело к резкому уменьшению переменных потерь в линиях и трансформаторах и, как следствие, к изменению структуры технических потерь электроэнергии в электрических сетях ПЭС и энергосистемы в целом.

В контексте сказанного рассмотрим, как отразилось изменение структуры технических потерь электроэнергии на отношение их величины к отпуску электроэнергии в сеть ПЭС и, как следствие, энергосистемы (т. е. на норматив этих потерь в процентном отношении). Формулы расчета нормативной характеристики потерь электроэнергии (НХПЭ) для распределительных сетей 6–10–35–110 кВ, которые составляют основу сетей ПЭС, практически одинаковы по всем методикам. Это – аналитическая зависимость потерь электроэнергии от ее пропусков через эквивалентные сопротивления линий и трансформаторов, которую с учетом каждой ступени напряжения электрической сети можно представить следующим образом [2, 3]:

$$\Delta W_{\text{норм}} = \Delta W_{\text{уп}} + \left(\sum_{i=1}^{N_i} a_i W_{\text{ли}}^2 + \sum_{i=1}^{N_i} b_i W_{\text{ти}}^2 \right) / T, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\text{уп}}$ – условно постоянные потери энергии, состоящие из потерь холостого хода в трансформаторах ($\Delta P_{\text{хх}} T$), реакторах, синхронных компенсаторах, расхода энергии на с. н. и т. д.;

a_i, b_i – рассчитанные коэффициенты НХПЭ;

N_i – количество ступеней напряжения;

$W_{\text{ли}}, W_{\text{ти}}$ – пропуск электроэнергии через линии и распределительные трансформаторы (РТ) i -й ступени напряжения;

T – продолжительность расчетного периода, равная числу часов месяца.

На основании (1) выведем формулу расчета процента потерь активной электроэнергии для электрической сети определенного уровня напряжения. Предположим, что абонентские РТ в сети отсутствуют ($W_{\text{ли}} = W_{\text{ти}}$). Это не вносит существенной погрешности в расчеты, так как переменные потери в РТ значительно меньше потерь в линиях, да и вид формул остается прежним. В этом случае формулу расчета процента

потерь электроэнергии за год для рассматриваемого уровня напряжения можно записать следующим образом:

$$\Delta W_{\text{год}\%} = [\Delta W_{\text{уп}} + CW_{\text{отп}}^2] / W_{\text{отп}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{отп}}$ – активная электроэнергия, отпущенная в данную сеть;

C – соответствующий постоянный коэффициент, который определяется по формуле $C = A/T$ (здесь A является коэффициентом НХПЭ [3], а T при определении потерь за год соответствует 8760 ч).

Преобразуем (2) и получим следующую формулу для определения процента потерь активной электроэнергии в электрической сети за год

$$\Delta W_{\text{год}\%} = [\Delta W_{\text{уп}} / W_{\text{отп}}] + [CW_{\text{отп}}]. \quad (3)$$

На рис. 1 показана зависимость процента потерь электроэнергии от отпуска в сеть рассматриваемого уровня напряжения, построенная в соответствии с (3). Данная кривая имеет свой минимум. При этом до резкого снижения отпуска электроэнергии в сеть величины ее годовых потерь в процентном отношении для различных уровней напряжения электрической сети и в соответствии с (3) находились для большинства ПЭС, как правило, справа от минимума. Исключение составляли часть сетей сельскохозяйственного назначения, имеющих и ранее очень слабую загрузку распределительных линий и трансформаторов. В настоящее же время величины потерь электроэнергии для различных уровней напряжения в процентном отношении часто находятся слева от минимума (рис. 1). Так как потери в сетях 0,4 кВ, питающих, как правило, бытовую нагрузку, остались практически неизменными, то и потери электроэнергии в электрических сетях ПЭС и областных энергокомпаний в процентном отношении могут возрастать.

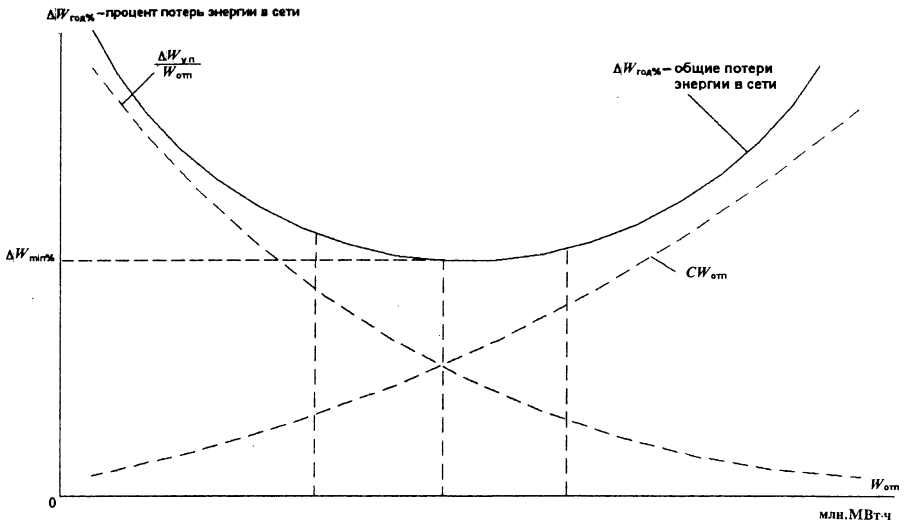


Рис. 1

В то же время следует подчеркнуть, что значительное изменение структуры технических потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем приводит к переоценке эффективности внедрения рекомендуемых мероприятий по их снижению [1, 4]. Особенно изменение

структуры потерь электроэнергии отразилось на выборе мероприятий по их снижению, связанных с установкой нового оборудования в электрической сети для снижения переменных потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах, так как существенно изменились укрупненные оценки эффективности от внедрения данных мероприятий. Рассмотрим это на примере определения эффективности от установки батарей статических конденсаторов (БСК) в электрических сетях. Так, если ранее рекомендовали на конкретном промышленном предприятии, в среднем потребляющем 1000 Квар реактивной мощности в час, установить БСК мощностью 200 Квар на стороне 10 кВ, то для распределительной линии напряжением 10 кВ и активным сопротивлением 2 Ом, питающей данное предприятие, могли получить за один час эффект от снижения потерь электроэнергии, равный

$$[(1000)^2 - (1000 - 200)^2]2 / 10^2 = 7200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Если рассмотреть этот же пример для достаточно реального сейчас варианта, когда из-за снижения производства средняя активная и реактивная нагрузки на данном предприятии снизились в два раза, то эффект от установки этой БСК уже составит

$$[(500)^2 - (500 - 200)^2]2 / 10^2 = 3200 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

т. е. эффект от установки БСК на этом предприятии в настоящее время получается в 2,25 раза меньше, чем в предыдущие годы.

С учетом особенностей данного примера для эквивалентного узла распределительной электрической сети оценим изменение эффективности установки БСК при снижении потребления реактивной и активной электроэнергии в ней до $K \cdot 100\%$ от ее потребления в годы с максимальной нагрузкой.

Для наглядности предположим, что характер графиков активной и реактивной мощностей постоянен за последние 8–10 лет, а потерями в БСК можно пренебречь. Тогда, если Q соответствует средней реактивной нагрузке в благополучные годы, то величина KQ равна средней нагрузке в настоящее время. При этом если ΔP_n соответствует снижению потерь электроэнергии в сети от установки БСК в предыдущие годы до обвала производства, а ΔP_n в настоящее время, то изменение эффективности от данной установки за последние годы с учетом [1] и выполненных преобразований можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta P_n / \Delta P_n &= [Q^2 - (Q - Q_{\text{уст}})^2] / [(KQ)^2 - (KQ - Q_{\text{уст}})^2] = \\ &= [2Q - Q_{\text{уст}}] / [2KQ - Q_{\text{уст}}], \end{aligned} \tag{4}$$

где $Q_{\text{уст}}$ — устанавливаемая реактивная мощность БСК.

На основании (4) можно определить взаимосвязь снижения эффективности установки БСК от их реактивной мощности. При этом нежелательно, чтобы устанавливаемая реактивная мощность БСК была больше реактивной нагрузки узла KQ , т. е. всегда должно выполняться

неравенство $Q_{уст} < KQ$. Поэтому максимальная устанавливаемая реактивная мощность БСК определяется формулой

$$Q_{уст. max} = KQ. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), получим выражение для максимального снижения эффективности от установки БСК за последние годы (рис. 2)

$$(\Delta P_{п}/\Delta P_{н})_{max} = (2 - K)/K. \quad (6)$$

Подставляя в (4) $Q_{уст} = 0$, определим минимальное снижение эффективности при конкретном снижении отпуска в сеть (рис. 2)

$$(\Delta P_{п}/\Delta P_{н})_{min} = 1/K. \quad (7)$$

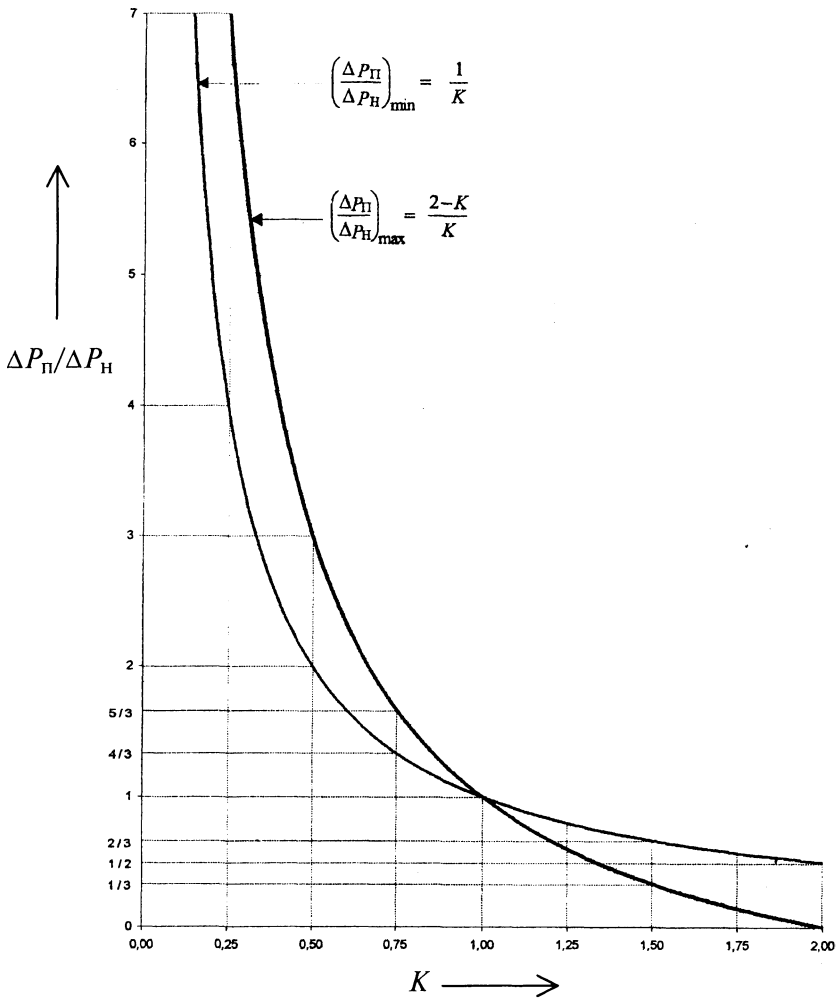


Рис. 2

Согласно рис. 2 все величины (4), характеризующие изменение эффективности от установки БСК в узле распределительной сети, находятся между кривыми (6) и (7) как при снижении, так и при повышении энергопотребления. При этом с помощью (6), (7) можно оценить и из-

менение эффективности работы уже установленного оборудования. Определим в соответствии с (6), (7) минимальное и максимальное снижение эффективности от установки БСК в узле электрической сети при 25-процентном снижении потребления электроэнергии в ней ($K = 0,75$):

$$(\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{min}} = 4/3; (\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{max}} = 5/3. \quad (8)$$

Затем при 50-процентном снижении энергопотребления ($K = 0,5$):

$$(\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{min}} = 2,0; (\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{max}} = 3,0, \quad (9)$$

а в заключение при 75-процентном снижении энергопотребления ($K = 0,25$):

$$(\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{min}} = 4,0; (\Delta P_{\text{п}}/\Delta P_{\text{н}})_{\text{max}} = 7,0. \quad (10)$$

Выражения (4), (6), (7) наглядно показывают, что из-за резкого снижения потребления электроэнергии в электрических сетях РЭС, ПЭС энергосистем за последние годы эффективность от установки нового оборудования для снижения переменных потерь электроэнергии в линиях и трансформаторах существенно уменьшилась. При этом, согласно (6), (7), при равномерном снижении энергопотребления эффективность от установки БСК уменьшается значительно быстрее. Например, уменьшение энергопотребления в узлах распределительной электрической сети на 25 % приводит к снижению эффективности работы данного оборудования в 4/3–5/3 раза (8), на 50 % – в 2–3 раза (9), а на 75 % – даже в 4–7 раз (10). На наш взгляд, при снижении энергопотребления больше чем на 20–25 % нужно заново рассчитать оптимальные величины и места установки БСК. При этом с учетом реального энергопотребления энергосистемы рекомендуемые среднюю эффективность и норматив снижения потерь электроэнергии от установки данного оборудования [4] иногда нужно уменьшать в несколько раз (рис. 2). В то же время желательно подходить к данной проблеме дифференцированно, учитывая по возможности характер нагрузки каждого узла электрической сети. Например, бытовое потребление электроэнергии осталось практически неизменным, а промышленная нагрузка, как правило, существенно уменьшилась. Но так как зависимость потерь мощности в электрической сети от активной и реактивной мощности одинакова, то и изменение укрупненных показателей эффективности внедрения ряда технических и организационных мероприятий по их снижению может определяться формулами, аналогичными (4), (6), (7). Негативно на эффективности внедрения оборудования сказывается и то, что цены на него близки к мировым, а на электроэнергию существенно меньше. Поэтому и срок окупаемости данного оборудования получается сейчас очень большим. Следует также подчеркнуть, что из-за резкого снижения в настоящее время переменных потерь в линиях распределительных сетей значительно уменьшилась и эффективность выбора некоторых организационных и практически беззатратных мероприятий по их снижению.

В то же время эффективность от внедрения мероприятий по уменьшению потерь холостого хода трансформаторов за счет рационального снижения напряжения в распределительной сети, отключения незагру-

женных параллельно работающих линий и трансформаторов, перестановки распределительных трансформаторов для их оптимальной загрузки и т. д. и сейчас достаточно высока. Из-за обвала промышленного производства актуальной в настоящее время является также задача по сглаживанию графиков нагрузок промышленных предприятий [3]. По той же причине за последние годы существенно изменились интегральные характеристики нагрузок электрической сети и поэтому назрела необходимость для более точного определения точек деления распределительной сети 6–10–35 кВ с учетом электрической сети более высокого уровня напряжения [5], моделируя при этом данные характеристики нагрузок различными методами [6].

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что при планировании выбора мероприятий по снижению потерь электроэнергии для конкретных электрических сетей РЭС, ПЭС энергосистемы нужно учитывать изменения их структуры и характера потребителей.

ВЫВОДЫ

1. В результате резкого снижения энергопотребления, происшедшего в последнее десятилетие, существенно изменилась структура технических потерь электроэнергии в электрических сетях ПЭС и, как следствие, для некоторых областных энергокомпаний при дальнейшем снижении отпуска электроэнергии в их сети наблюдался рост данных потерь электроэнергии в процентном отношении от этого отпуска.

2. Из-за существенного снижения энергопотребления в последние годы резко уменьшились переменные потери электроэнергии в линиях и трансформаторах и, как следствие, усредненные нормы для оценки эффективности ряда организационных и технических мероприятий по их снижению.

3. При планировании выбора мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях РЭС, ПЭС энергосистемы нужно учитывать изменения структуры данных потерь и энергопотребления за последние годы, так как при учете этих факторов может существенно измениться эффективность внедрения и характер планируемых мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и объединений. — М.: СПО «Союзтехэнерго», 1987. — 87 с.

2. Потребич А. А. Погрешности нормирования потерь энергии в распределительных электрических сетях // Электрические станции. — 1999. — № 12. — С. 33–38.

3. Потребич А. А. Особенности нормирования потерь энергии для электрических сетей промышленных предприятий // Электрические станции. — 2000. — № 4.

4. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — С. 175.

5. Потребич А. А., Шевцов В. И. Расчет потерь энергии и выбор мероприятий по их снижению при наличии в электрической сети резкопеременной нагрузки // Электрические станции. — 1995. — № 3. — С. 23–26.

6. Потребич А. А. Методы расчета потерь энергии в питающих электрических сетях энергосистем // Электричество. — 1995. — № 9. — С. 8–12.

Поступила 2.11.2000