

# РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Методика расчета технологических потерь  
электроэнергии при ее передаче по электрическим  
сетям в базовом периоде

Приказ Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 326

# 1. Методы расчета условно-постоянных потерь

- I. Потери на холостой ход силовых трансформаторов
- II. Потери на корону в ВЛ 110 кВ и выше
- III. Потери в КУ, ШР, соединительных проводах и сборных шинах РУ подстанций
- IV. Потери в системе учета ЭЭ
- V. Потери в вентильных разрядниках и ОПН
- VI. Потери в устройствах присоединений ВЧ связи
- VII. Потери в изоляции силовых кабелей
- VIII. Потери от токов утечки по изоляторам ВЛ
- IX. Расход ЭЭ на СН подстанций и плавку гололеда

# I. Потери на холостой ход силовых трансформаторов

Потери ЭЭ на ХХ силовых трансформаторов определяются как

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left( \frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2$$

Напряжение на трансформаторе (автотрансформаторе) определяется с помощью измерений или с помощью расчета установившегося режима сети.

Допускается для силовых трансформаторов (автотрансформаторов) потери мощности холостого хода определять с учетом их технического состояния и срока службы путем измерений этих потерь методами, применяемыми на заводах-изготовителях при установлении паспортных данных трансформаторов (автотрансформаторов).

## II. Потери на корону в ВЛ 110 кВ и выше

- Определяются на основе данных об удельных потерях мощности и о продолжительностях видов погоды в течение расчетного периода
- Учитывается отличие рабочего напряжения от номинального путем умножения потерь на корону на поправочный коэффициент, определяемый по приведенной эмпирической формуле.

### III. Потери в КУ, ШР, соединительных проводах и сборных шинах РУ подстанций (СППС)

КУ

$$\Delta W_{\text{КУ}} = \Delta p_{\text{КУ}} S_{\text{КУ}} T_{\text{p}}$$

СК

$$\Delta W_{\text{СК}} = (0,4 + 0,1\beta_Q^2) \Delta P_{\text{НОМ}} T_{\text{p}}$$

ШР

$$\Delta W_{\text{ШР}} = \Delta P_{\text{ШР}} \sum_{i=1}^m T_{\text{pi}} \left( \frac{U_i}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2$$

СППС – по таблице удельных значений

## IV. Потери в системе учета ЭЭ

Берутся и з таблиц по видам оборудования:

- ТТ (на 10 кВ – 0,1 тыс. кВт ч; 110 кВ – 1,1 тыс. кВт ч; 500 кВ – 5 тыс. кВт ч)
- ТН (на 10 кВ – 1,9 тыс. кВт ч; 110 кВ – 11 тыс. кВт ч; 500 кВ – 28,9 тыс. кВт ч)
- Счетчики (индукционный и электронный) 0,02 (0,09) тыс. кВт ч однофазный (трехфазный)

## V. Потери в вентиляных разрядниках и ОПН

- Берутся из таблиц

Номинальное напряжение	Потери ЭЭ, тыс. кВт ч	
	РВ	ОПН
10	0,021	0,001
110	0,6	1,1
500	4,93	3,94

## VI. Потери в устройствах присоединения ВЧ связи

- Берутся из таблицы

Номинальное напряжение, кВ	10	110	500
Потери ЭЭ, тыс. кВт ч	0,001	0,22	2,12



## VII. Потери в изоляции силовых кабелей

- По данным заводов изготовителей или таблице

Сечение, мм <sup>2</sup>	Потери ЭЭ, тыс. кВт час при напряжении, кВ	
	10	110
70	0,86	-
150	1,17	27,0
240	1,67	32,4

## **VIII. Потери от токов утечки по изоляторам ВЛ**

- Определяются на основе данных об удельных потерях мощности, группы погоды и продолжительности видов погоды
- При отсутствии данных о продолжительности различных погодных условий годовые потери ЭЭ берут из специальной таблицы в соответствии с установленным номером региона территориальных образований РФ.
- Таких регионов СЕМЬ!

## IX. Расход ЭЭ на СН

- Определяется на основе приборов учета, установленных на ТСН
- При отсутствии приборов учета на ТСН – по результатам энергетических обследований

## **2. Методы расчета нагрузочных потерь**

- I. Оперативных расчетов
- II. Расчетных суток
- III. Средних нагрузок
- IV. Числа часов наибольших потерь
- V. Оценки потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети

# I. Метод оперативных расчетов

Оперативные методы используют данные телеизмерений и дают наиболее точные результаты для состоявшихся режимов работы.

$$\Delta W_{\text{H}} = 3 \sum_{i=1}^n R_i \sum_{j=1}^m I_{ij}^2 \Delta t_{ij}$$

## II. Метод расчетных суток

Рекомендуется как предпочтительный для расчета потерь в замкнутых сетях 110 кВ и выше, не участвующих в обмене мощностью.

$$\Delta W_{\text{н } j} = k_{\text{л}} k_{\text{ф.м}}^2 \Delta W_{\text{сут}} D_{\text{экв } j}$$

$D_{\text{экв } j}$  — эквивалентное число дней  
в  $j$ -м расчетном интервале

### III. Метод средних нагрузок

Рекомендуется как предпочтительный для разомкнутых сетей 6-150 кВ при наличии данных об электроэнергии, пропущенной по головному участку сети за рассматриваемый период.

$$\Delta W_{н j} = k_{л} k_k \Delta P_{ср} T_j k_{ф}^2$$

$k_{л}$  — коэффициент, учитывающий влияние потерь в арматуре ВЛ и принимаемый равным 1,02 для линий напряжением 110 кВ и выше и равным 1,0 для линий более низких напряжений

$$\Delta P_{\text{ср}}$$

Потери мощности в сети при средних за расчетный интервал нагрузках узлов

$$k_{\text{ф}}^2$$

Коэффициент формы графика суммарной нагрузки сети за расчетный период

$$k_k$$

Коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузок различных ветвей сети

$$T_j$$

Продолжительность  $j$ -го расчетного интервала, ч.



## IV. Метод числа часов наибольших потерь мощности

рекомендуется для расчета потерь в сетях 6 кВ и выше.

$$\Delta W_{н j} = k_{л} k_k \Delta P_{\max} T_j \tau_o$$

$\Delta P_{\max}$

Потери мощности в режиме наибольшей нагрузки сети;

$\tau_o$

Относительное число часов наибольших потерь мощности, определенное по графику суммарной нагрузки сети за расчетный период.

# Число часов наибольших потерь

$$\tau = \sum_{i=1}^m \frac{P_i^2 \Delta t_i}{P_{\max}^2}$$

$$\tau_o = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^m \frac{P_i^2 \Delta t_i}{P_{\max}^2}$$

## V. Метод оценки потерь по обобщенной информации о схемах и нагрузках сети

Нагрузочные потери ЭЭ в сети 0,4 кВ рассчитываются следующими методами:

- Оценка потерь ЭЭ на основе зависимостей потерь от обобщенной информации о схемах и нагрузках сети;
- Расчет потерь ЭЭ в линиях 0,38 кВ в зависимости от величины падения напряжения;
- Поэлементный расчет потерь мощности и ЭЭ с использованием схемы электрической сети и ее режимных параметров.

## Оценка потерь ЭЭ на основе зависимостей потерь от обобщенной информации о схемах и нагрузках сети

$$\Delta W_{\text{н } 0,38} = k_{0,38} \frac{W_{0,38}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) L_{\text{ЭКВ}}}{F_{\Gamma} D} \cdot \frac{1 + 2k_3}{3k_3}$$

$k_{0,38}$  – коэффициент, учитывающий характер распределения сечений головного участка линии;  
нагрузок по длине линий и неодинаковость нагрузок фаз;  
 $D$  – количество дней, за которые рассчитываются потери ЭЭ;  
 $W_{0,38}$  – отпуск ЭЭ в линию;  
 $k_3$  – коэффициент заполнения графика нагрузки  $k_3 = T_{\text{м}}/T$ ;  
 $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности;  
 $L_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентная длина линии.

Эквивалентная длина линии определяется по формуле:

$$L_{\text{ЭКВ}} = L_{\text{М}} + 0,44L_{2-3} + 0,22L_1$$

где  $L_{\text{М}}$  — длина магистрали;

$L_{2-3}$  — длина двухфазных и однофазных ответвлений;

$L_1$  — длина однофазных ответвлений.

Коэффициент  $k_{0,38}$  определяют по формуле:

$$k_{0,38} = 9,67 - 3,32d_p - 1,84d_p^2$$

$d_p$  — доля распределенных нагрузок в суммарном отпуске  
ЭЭ в сеть

Распределенные нагрузки характерны для линий, к которым присоединены бытовые абоненты (жилые здания с ответвлениями от линии, идущей вдоль улицы)



Нагрузка коммунально-бытовых потребителей небольшой мощности (торговые предприятия, учреждения культуры и бытового обслуживания), как правило, является частью распределенной нагрузки.

Как получили формулу потерь  
ЭЭ?

$$\Delta W_{\text{H } 0,38} = k_{0,38} \frac{W_{0,38}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) L_{\text{ЭКВ}}}{F_{\Gamma} \mathcal{D}} \cdot \frac{1 + 2k_3}{3k_3}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{H}} &= \Delta P_{\text{cp}} T = \frac{M \left[ P^2 + Q^2 \right]}{U_{\text{НОМ}}^2} RT = \\ &= \frac{P_{\text{cp}}^2 + D_P + Q_{\text{cp}}^2 + D_Q}{U_{\text{НОМ}}^2} RT = \\ &= \frac{(P_{\text{cp}}^2 + Q_{\text{cp}}^2) k_{\phi}^2}{U_{\text{НОМ}}^2} RT \end{aligned}$$

$$\Delta W_{\text{H}} = \frac{(P_{\text{cp}}^2 + Q_{\text{cp}}^2) k_{\phi}^2}{U_{\text{ном}}^2} RT = \frac{(W_P^2 + W_Q^2) k_{\phi}^2}{U_{\text{ном}}^2 T} R$$

Если период времени несколько дней, то

$$\Delta W_{\text{H}} = \frac{(W_P^2 + W_Q^2) k_{\phi}^2}{24 U_{\text{ном}}^2 \mathcal{D}} R$$

или

$$\Delta W_{\text{H}} = \frac{W_P^2 (1 + \text{tg}^2 \varphi) k_{\phi}^2}{24 U_{\text{ном}}^2 \mathcal{D}} R$$



С учетом

$$R = \frac{32L}{F}$$

$$\text{и } U_{\text{НОМ}} = 0,38 \text{ кВ}$$

$$\begin{aligned}\Delta W_{\text{H}} &= \frac{W_P^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) k_{\phi}^2}{24 U_{\text{НОМ}}^2 \mathcal{D}} R = \frac{W_P^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) k_{\phi}^2}{24 U_{\text{НОМ}}^2 \mathcal{D}} \frac{32L}{F} = \\ &= 9,23 \frac{W_P^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) k_{\phi}^2 L}{F \mathcal{D}}\end{aligned}$$



$$\Delta W_{\text{H } 0,38} = k_{0,38} \frac{W_{0,38}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) L_{\text{ЭКВ}}}{F_{\Gamma} \mathcal{D}} \cdot \frac{1 + 2k_3}{3k_3}$$

### **3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПОТЕРЬ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДОПУСТИМЫМИ ПОГРЕШНОСТЯМИ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЭ**

## Абсолютные потери ЭЭ, %, обусловленные допустимой погрешностью системы учета ЭЭ

$$W_{\text{погр.Б}} = 0,01 \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 W_i^2 + \sum_{j=1}^m \delta_j^2 W_j^2 + \frac{\delta_3^2}{k_3} W_3^2 + \frac{\delta_1^2}{k_1} W_2^2}$$

$n$  — количество точек учета, фиксирующих прием ЭЭ;

$m$  — количество точек учета, фиксирующих отдачу ЭЭ, в том числе крупным потребителям.

$\delta_i (\delta_j)$  – погрешность измерительного канала принятой (отданной) активной ЭЭ по электрической сети, %;

$W_i (W_j)$  – прием (отдача) активной ЭЭ по электрической сети, тыс. кВт ч;

$k_3$  – количество точек учета трехфазных потребителей;

$k_1$  – количество точек учета однофазных потребителей;

$W_3$  – потребление ЭЭ трехфазными потребителями (за минусом, учтенных в « $m$ »), тыс. кВт ч;

$W_1$  – потребление ЭЭ однофазными потребителями (за минусом, учтенных в « $m$ »), тыс. кВт ч.

## Относительны потери ЭЭ

$$\Delta W_{\text{погр.Б, \%}} = \frac{W_{\text{погр.Б}}}{W_{\text{ОС Б}}} 100$$

где  $W_{\text{ОС.Б}}$  - отпуск электроэнергии в сеть в целом по электрической сети за базовый период.

# Погрешность измерительного канала активной ЭЭ

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{\text{сч}}^2 + \delta_{\text{ТТ}}^2 + \delta_{\text{ТН}}^2 + \delta_{\text{Л}}^2}$$

где  $\delta_{\text{сч}}$ ,  $\delta_{\text{ТТ}}$ ,  $\delta_{\text{ТН}}$  - основные допустимые погрешности счетчиков, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения при нормальных условиях (принимаются по значению классов точности), %;

$\delta_{\text{Л}}$  - предел допустимых потерь напряжения в линиях присоединения счетчиков к ТН, %.

- Потери электроэнергии, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии, по уровням напряжения распределяются пропорционально отпуску в сеть по уровням напряжения как в базовом, так и в регулируемом периодах.
- В случае если в базовом году технологические потери электроэнергии превышают фактические (отчетные) потери электроэнергии, то в регулируемом году потери электроэнергии, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета, принимаются равными нулю.