

УДК 658.26

## КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сорока А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Радкевич В.Н.

Потери в распределительных трансформаторах составляют значительную часть общих потерь в системах передачи и распределения электроэнергии. Так, например, проведенный в конце XX века анализ работы сетей передачи и распределения энергии тихоокеанского побережья США показал, что потери в распределительных трансформаторах составляют более 30%, в то время, как в трансформаторах питающих подстанций теряется только 2%. Аналогичная картина имеет место и в отечественных распределительных трансформаторах. Учитывая значительное количество распределительных трансформаторов в электроэнергетических системах и большой срок их службы, снижение потерь электроэнергии в таких трансформаторах представляет собой ощутимый резерв энергосбережения.

В странах Евросоюза большинство требований к распределительным трансформаторам определяется национальными (BSI, NF, DIN, NEN, UNE OTEL), международными (ISO, IEC), а также европейскими (EN, HD) стандартами. Уровень энергоэффективности масляных распределительных трансформаторов определяется стандартом HD428 «Трехфазные распределительные трансформаторы с рабочей частотой 50 Гц от 50 до 2500 кВ·А с масляным охлаждением и максимальным напряжением не выше 36 кВ». В таблице 1 приведены допустимые уровни потерь мощности короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (ХХ) в трансформаторах в соответствии с указанным стандартом [1].

Таблица 1-Допустимые уровни потерь по HD428

| Номинальная мощность, кВ·А | Допустимые уровни потерь короткого замыкания, кВт |                 |                 | Допустимые уровни потерь холостого хода, кВт |                 |                 |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|
|                            | $\Delta P_{ка}$                                   | $\Delta P_{кб}$ | $\Delta P_{кc}$ | $\Delta P_{ха}$                              | $\Delta P_{хб}$ | $\Delta P_{хc}$ |
| 100                        | 1,75  | 2,15            | 1,47            | 0,32   | 0,26            | 0,21            |
| 160                        | 2,35  | 3,10            | 2,00            | 0,46   | 0,37            | 0,30            |
| 250                        | 3,25  | 4,20            | 2,75            | 0,65   | 0,53            | 0,42            |
| 400                        | 4,60  | 6,00            | 3,85            | 0,93   | 0,75            | 0,61            |
| 630                        | 6,50  | 8,40            | 5,40            | 1,30   | 1,03            | 0,86            |
| 1000                       | 10,50   | 13,00           | 9,50            | 1,70   | 1,40            | 1,10            |
| 1600                       | 17,00   | 20,00           | 14,00           | 2,60   | 2,20            | 1,70            |
| 2500                       | 26,50   | 32,00           | 22,00           | 3,80   | 3,20            | 2,50            |

Как видно из таблицы 1, для масляных трансформаторов определенной номинальной мощности допускаются три уровня потерь КЗ ( $\Delta P_{ка}$ ,  $\Delta P_{кб}$ , и  $\Delta P_{кc}$ ) и три уровня потерь ХХ ( $\Delta P_{ха}$ ,  $\Delta P_{хб}$ , и  $\Delta P_{хc}$ ). Значения потерь мощности определяются по специальной методике с учетом погрешности измерений. При несоответствии изделия стандарту HD428 во время испытаний производитель либо отбраковывает трансформатор, либо согласовывает с покупателем величину денежной компенсации. И наоборот, если фактические величины потерь у крупных трансформаторов существенно лучше требований соответствующего уровня нормы (или контрактной спецификации), производитель может получить от покупателя дополнительное вознаграждение[2].

Таким образом, норматив HD428 дает возможность выбора трех уровней потерь КЗ и трех ХХ от наименее эффективной комбинации  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ , до наиболее эффективной  $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хс}$ .

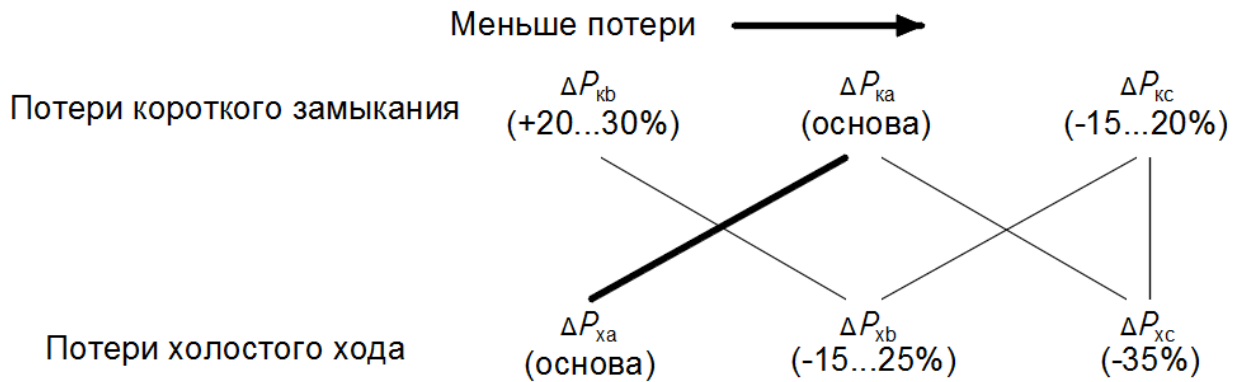


Рисунок 1- Допустимые комбинации уровней потерь

Теоретически существует девять возможных комбинаций. Однако норматив HD428 допускает пять возможных комбинаций (рисунок 1), где комбинация  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$  принята за основу сравнения[1].

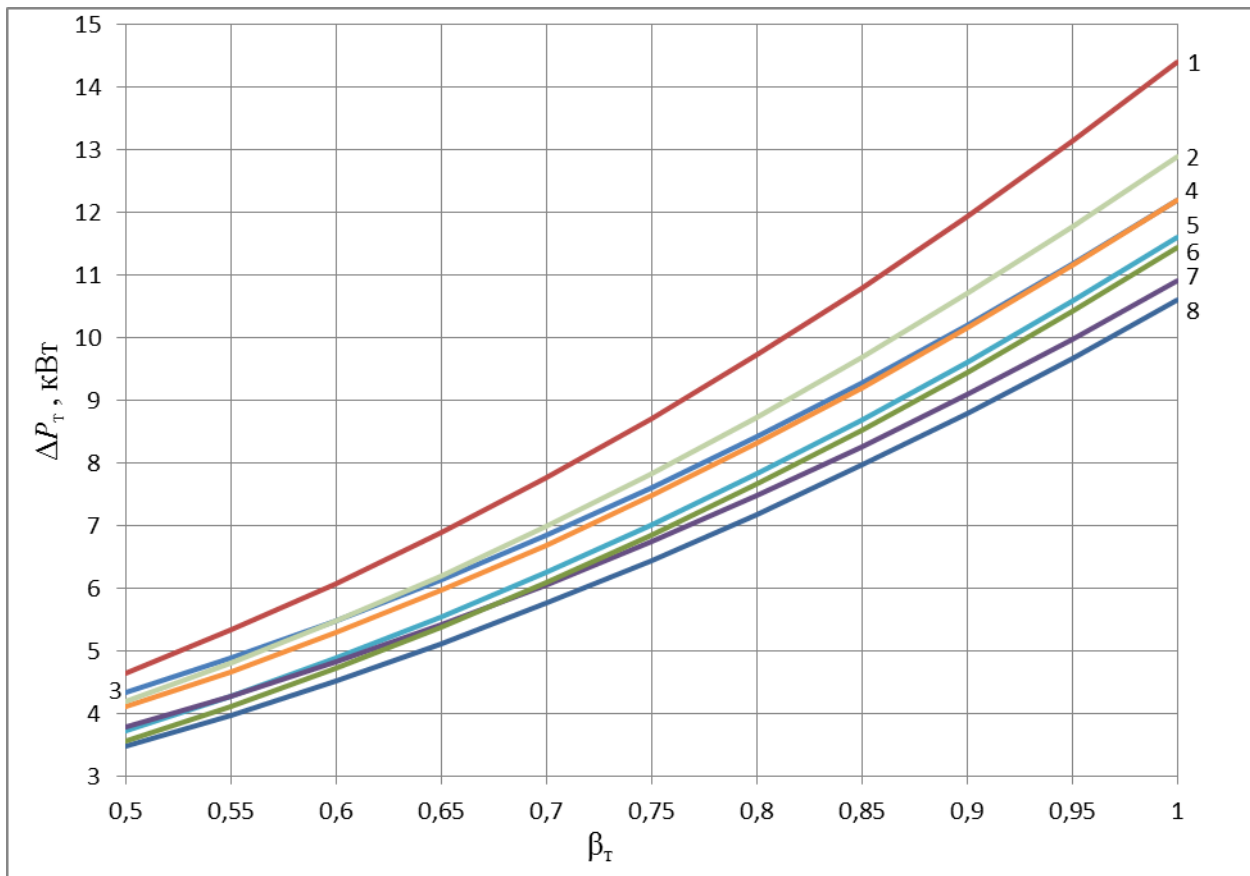


Рисунок 2- Суммарные потери трансформатора в зависимости от коэффициента загрузки:  
 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{хб}$ ; 2-ТМГ21; 3-  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ ; 4- ТМГ11; 5-  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{хс}$ , ТМГ11; 6- ТМГ15; 7-  $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хб}$ ;  
 8-  $\Delta P_{кк} - \Delta P_{хс}$

У значений суммарных потерь (нагрузки и холостого хода) между крайними значениями, а именно комбинациями  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$  и  $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$ , усматривается большая разница (около 1,5 кВт) для трансформаторов номинальной мощностью 630 кВ·А.

Фактические потери в распределительных трансформаторах определяются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \beta_T^2 \cdot \Delta P_K, \tag{1}$$

где  $\Delta P_X$ - потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_K$ - потери короткого замыкания, кВт;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора.

На рисунке 2 приведена зависимость суммарных потерь трансформатора номинальной мощностью 1000 кВ·А от коэффициента загрузки для различных комбинаций уровней энергоэффективности.

Удельные потери в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta p_y = \Delta P_T / S_{ном}, \tag{2}$$

где  $S_{ном}$ - мощность трансформатора, кВ·А.

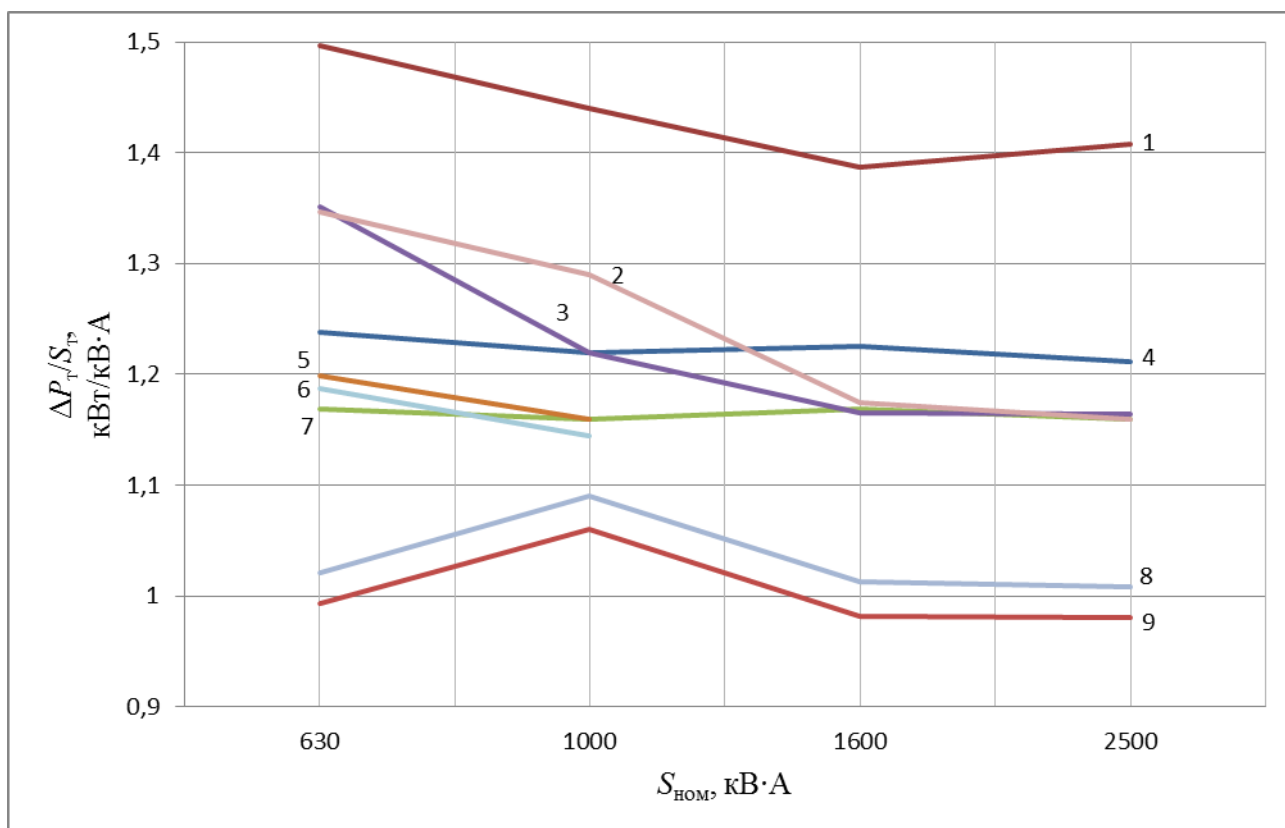


Рисунок 3- Зависимость относительных потерь в трансформаторе от номинальной мощности: 1- $\Delta P_{кб} - \Delta P_{xb}$ ; 2-ТМГ21; 3-ТМГ11; 4-  $\Delta P_{ка} - \Delta P_{ха}$ ; 5-ТМГ12; 6- ТМГ15; 7- $\Delta P_{ка} - \Delta P_{xc}$ ; 8- $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xb}$ ; 9-  $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$

На рисунке 3 представлена зависимость удельных потерь от мощности трансформаторов по стандарту HD428 и серий ТМГ ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова”.

Формально только уровень  $\Delta P_{кc} - \Delta P_{xc}$  для масляных силовых распределительных трансформаторов можно считать энергоэффективным (стандарт HD428) [2]. Трансформаторы отечественного производства, как правило, не соответствуют данному уровню потерь. Однако некоторые из них можно отнести к менее энергоэффективным уровням потерь согласно HD428. Данные трансформаторы приведены в таблице 2.

Таблица 2-Трансформаторы ОАО “МЭТЗ им. В.И. Козлова” соответствующие стандарту HD 428.

| Тип трансформатора | Потери ХХ, кВт | Потери КЗ, кВт | Уровень энергоэффективности     |
|--------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| ТМГ11-1000/10      | 1,4            | 10,8           | $\Delta P_{xb} - \Delta P_{kb}$ |
| ТМГ12-1000/10      | 1,1            | 10,5           | $\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$ |
| ТМГ12-1000/10      | 0,97           | 10,5           | $\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$ |
| ТМГ21-2500/10      | 2,5            | 26,5           | $\Delta P_{xc} - \Delta P_{ka}$ |

Существуют и другие признаки для оценки энергоэффективности трансформаторов. Например, такие как применение специальных видов обмоток, усовершенствованных магнитопроводов и т. д. В США трансформатор с энергоэффективностью равной или лучшей, чем у 35 % самых продаваемых моделей, признается энергоэффективным. Такие способы оценки хоть и имеет право на существование, но не связаны напрямую с основным показателем – энергоэффективностью [2].

#### Литература

1. Стандарт EN 50464-1 “European standardisation for transformer losses reduction”.
2. Мельникова Е. В. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов (электронный ресурс). Режим доступа [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2384](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2384)