

В.А. КОКОС, студент гр. ЭР6-231 (КузГТУ)  
Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, старший преподаватель  
(КузГТУ)  
г. Кемерово

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Распределительные трансформаторы играют ключевую роль в системах электроснабжения, обеспечивая преобразование напряжений для конечных потребителей. Однако, несмотря на высокий КПД (обычно 98–99 %) каждого отдельного трансформатора, в совокупности, при каждом преобразовании электроэнергии КПД падает. На сегодняшний день при преобразовании электроэнергии КПД трансформаторов падает на 10% [1]. С учетом числа трансформаций потери электроэнергии в трансформаторах достаточно существенны. Поэтому в современном мире ищут способы по повышению их энергоэффективности.

Для определения способов повышения эффективности нужно для начала определить, какие виды потерь существуют в распределительных трансформаторах и от чего они зависят.

Во-первых, это нагрузочные потери. Данные потери называют потерями короткого замыкания в технической документации. Данные потери возникают в обмотках трансформатора и, соответственно, зависят от сопротивления обмоток и протекающего по ним тока. Наибольшее влияние на потери в обмотках оказывает ток, величина которого зависит от нагрузки трансформатора в тот или иной момент времени.

Еще одним видом потерь в трансформаторах являются потери холостого хода – это преимущественно потери в магнитной системе. Это потери зависят от материала сердечника, его конструкции и технологии изготовления. Магнитные потери в трансформаторах состоят из потерь на вихревые токи и на гистерезис: намагничивание и перемагничивание.

Зная, какие виды потерь есть в трансформаторах и их влияние на КПД, можно предложить различные решения для их уменьшения.

Рассмотрим основные способы повышения энергоэффективности распределительных трансформаторов за счет уменьшения потерь холостого хода.

Одно из направлений использования новых материалов с лучшими магнитными свойствами, например, аморфной стали. Аморфный сплав – это материал, в котором атомы расположены беспорядочно, без четкой кристаллической структуры. В отличие от обычных металлов и сплавов

(например, электротехнической стали), где атомы образуют регулярную кристаллическую решётку, в аморфном сплаве структура напоминает стекло. Это является его главным преимуществом перед электротехнической сталью. В кристаллических материалах магнитные домены «привязаны» к определённым направлениям, что обуславливает дополнительное магнитное сопротивление. В связи с этим, при перемагничивании требуется дополнительная энергия, что приводит к увеличению гистерезисных потерь.

В аморфном сплаве магнитные домены могут свободно менять ориентацию, что существенно снижает потери на гистерезис.

На рисунке 1 представлено сравнение потерь холостого хода в трансформаторах с сердечниками из традиционной электротехнической стали (ТМ и ТМГ) и из аморфной стали (АТМГ). Как следует из гистограммы, трансформаторы с аморфным сердечником имеют существенно меньшие потери для всей линейки номинальных мощностей. КПД таких трансформаторов составляет от 95 до 98 процентов, в отличие от своих предшественников, у которых КПД составляет 94 процента и меньше [2].

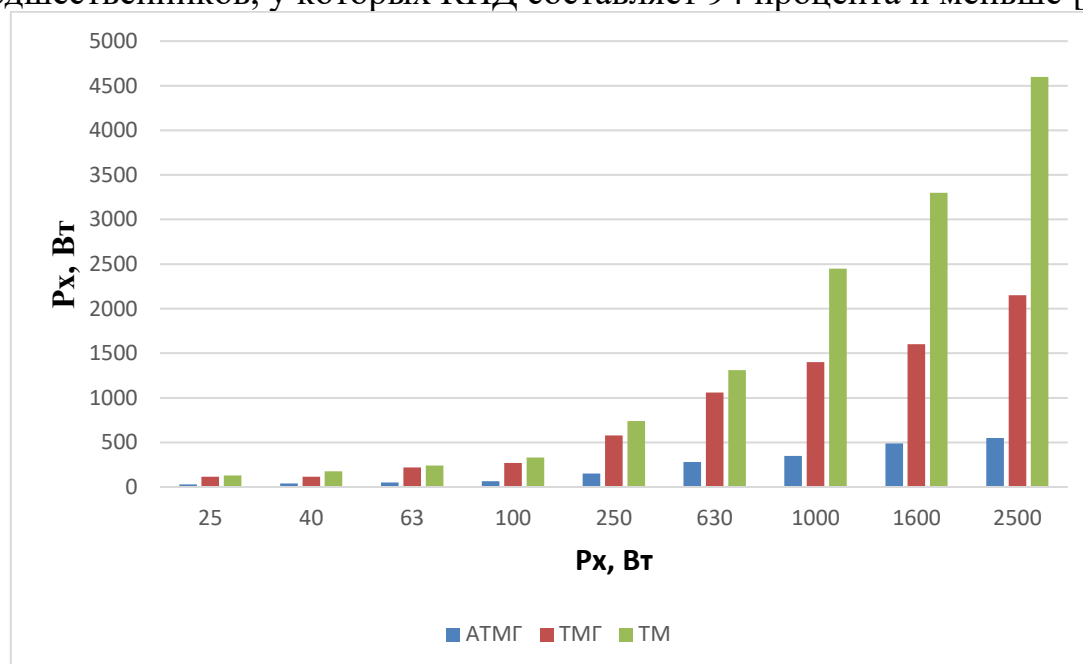


Рис. 1. Гистограмма сравнения потерь холостого хода трансформаторов с различными сердечниками

Вторым направлением уменьшения магнитных потерь является оптимизация конструкции магнитопровода и технологии его изготовления.

Например, использование способа шихтовки *star lap* не только позволило снизить потери холостого хода, но и привело к уменьшению уровня шума, создаваемого трансформатором в процессе эксплуатации.

Трансформаторы с шихтованными магнитными системами до сих пор превалируют, но все больше выпускается распределительных транс-

форматоров с навитыми магнитопроводами, имеющими меньшие потери при использовании тех же самых ферромагнитных материалов.

Основными способами повышения энергоэффективности распределительных трансформаторов за счет уменьшения нагрузочных потерь являются следующие.

1. Использование транспонированных проводов. Как известно, в некоторых типах обмоток трансформаторов требуется выполнять транспозицию проводов с целью выравнивания токовой нагрузки в параллельных проводах витков. Применение транспонированных проводов для обмоток не только упрощает технологию их намотки, но и приводит к выравниванию тока в сечении проводников и снизить добавочные потери, связанные с поверхностным эффектом и эффектом близости.

2. Оптимизация системы охлаждения. Эффективный отвод тепла от обмоток и магнитопровода позволяет снизить их рабочую температуру и уменьшить потери, связанные с ростом сопротивления проводников при нагреве. Применение направленной циркуляции масла, оптимизация размещения и формы радиаторов способствуют интенсификации охлаждения.

3. Применение обмоточных проводов большего сечения. Увеличение сечения проводников обмоток приводит к снижению их сопротивления и, соответственно, потерь короткого замыкания.

Существует еще один способ повышения энергоэффективности распределительных трансформаторов, который влияет на все потери трансформатора – это выбор оптимального режима работы. Достичь этого можно за счет регулирования числа работающих трансформаторов на подстанции [3].

При работе одного трансформатора при нагрузке  $S$  потери в трансформаторе будут равны:

$$P_1 = P_x + P_k \frac{S^2}{S_H^2}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где  $P_x$  – потери холостого хода,  $P_k$  – потери короткого замыкания,  $S$  – нагрузка трансформатора,  $S_H$  – номинальная мощность трансформатора.

При той же нагрузке  $S$ , но при работе двух трансформаторов потери будут определяться по формуле:

$$P_2 = 2P_x + 2P_k \frac{S^2}{4S_H^2} \cdot \text{кВт} \quad (2)$$

При определённом (критическом) значении передаваемой мощности потери в трансформаторах будут одинаковыми. Соответственно, если передаваемая мощность будет достаточно велика, то будет выгодней использовать два одинаковых трансформатора, т.к. суммарные потери короткого

замыкания уменьшаются. В другом случае, если передаваемая мощность будет достаточно низкой, то потери короткого замыкания будут минимальны, а потери холостого хода будут преобладать, значит экономически целесообразно отключить один трансформатор, чтобы уменьшить потери холостого хода и повысить коэффициент загрузки оставшегося в работе трансформатора. График, визуально показывающий зависимость потерь от количества работающих трансформаторов на подстанции, представлен на рисунке 2.

Из данной зависимости следует, что 40 МВА является той самой критической нагрузкой, когда потери одинаковы. Эта величина является условием рационального выбора трансформатора. Это позволяет регулировать потери, в зависимости от нагрузки, путем отключения или включения трансформаторов на подстанции, что очень важно при смене сезонов, влияющих на степень загрузки трансформаторов.

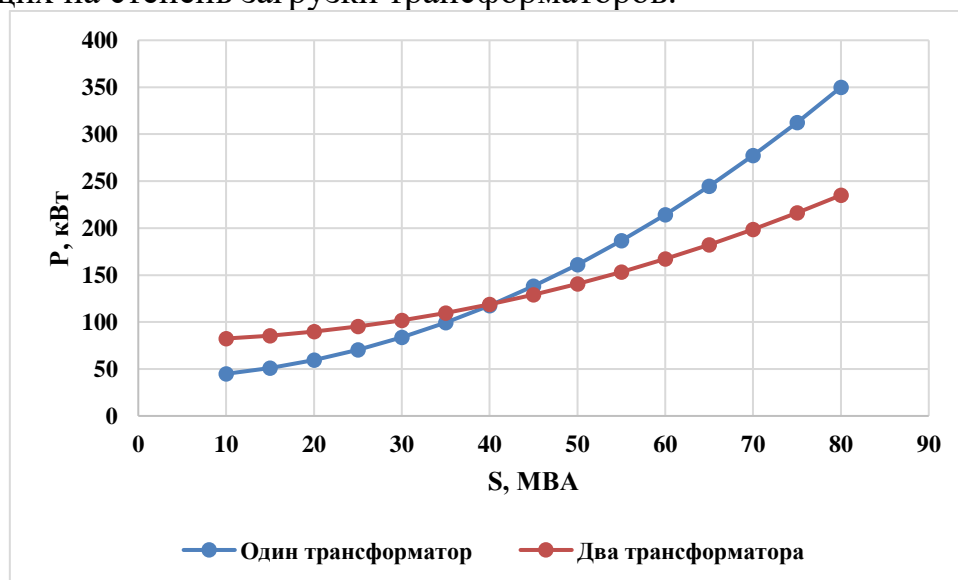


Рис. 2. Зависимость суммарных потерь от загрузки трансформатора, где  $P$  – суммарные потери,  $S$  – нагрузка трансформаторов

Таким образом, наиболее перспективными направлениями для снижения потерь в трансформаторах являются применение трансформаторов с аморфными сердечниками, использование современных технологий изготовления активной части трансформаторов, регулирование режима работы подстанции, замена малозагруженных и перегруженных трансформаторов.

#### Список литературы:

1. Официальный сайт «Некоммерческое партнерство инженеров». Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов. – URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2281](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2281) (дата обращения: 02.10.2025).

2. Официальный сайт «Молодой учёный». Сравнение трансформаторов с аморфным сердечником с трансформаторами ТМГ/ТМ. – URL: <https://moluch.ru/archive/518/113740>(дата обращения: 04.10.2025).

3. Беляевский, Р. В., Воронин, В. А. Энергосбережение: методические указания к лабораторным работам / Р. В. Беляевский, В. А. Воронин. – Кемерово: КузГТУ, 2019 – 176 с.

Информация об авторах:

Кокос Владислав Александрович, студент гр. ЭР6-231, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, v.kokos2018@yandex.com

Долгопол Татьяна Леонидовна, старший преподаватель, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, dtl.egpp@kuzstu.ru