

К.И. ГАРБУЗОВ, студент (КузГТУ)
Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, старший преподаватель
(КузГТУ)
г. Кемерово

СРАВНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К УРОВНЮ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПО ЕВРОПЕЙСКОМУ И РОССИЙСКОМУ СТАНДАРТАМ

Распределительные трансформаторы – это электротехническое оборудование, предназначенное для снижения высокого напряжения до значений, пригодных для снабжения конечных пользователей. Поскольку эти устройства критически важны для системы электроснабжения, к ним предъявляются строгие критерии, включая надежность, безопасность, экологичность и энергоэффективность. [1] Под энергоэффективностью понимаются потери электроэнергии в ходе трансформации, которые делятся на потери холостого хода (магнитные) и потери короткого замыкания (в обмотках).

В России вопросы энергосбережения и классификация энергоэффективного оборудования, включая ограничение указанных потерь, регламентируется Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении...». Мировая практика демонстрирует, что в последние двадцать лет многие европейские страны уже ввели жесткие нормативы, нацеленные на сокращение потерь в трансформаторах. Российская Федерация, в свою очередь, активно адаптирует свою нормативную базу, учитывая международные наработки для повышения КПД электрических сетей.

Нормативное регулирование распределительных трансформаторов в ЕС осуществляется на трех уровнях:

- международные стандарты (ISO, IEC);
- общеевропейские регламенты (EN, HD);
- национальные стандарты (DIN, BSI, NF и др.).

В Российской Федерации использование энергоэффективных силовых трансформаторов регулируется следующими документами:

- Постановление Правительства РФ № 600, которое утверждает перечень высокоэффективных технологий, включая силовые трансформаторы;
- Стандарт ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-011-2021, устанавливающий требования к потерям холостого хода и короткого замыкания для распределительных трансформаторов напряжением 6-10 кВ.

Разработка отечественных стандартов стимулирует повышение энерго-эффективности через внедрение инновационных материалов и произ-

водственных технологий. Важным отличием является то, что российские нормы устанавливают нормативы потерь как для масляных, так и для сухих трансформаторов, в то время как в Европе стандарты энергоэффективности для сухих моделей пока не разработаны.

Регламент Комиссии (EU) 2019/1783, имеющий статус прямого закона в ЕС, определяет обязательные нормативы потерь для распределительных трансформаторов. Документ не является стандартом, но предписывает использование стандартов EN 60076-1 и EN 50588-1 для регламентации методов измерений и классификации оборудования по классам эффективности.

Важнейшим положением Регламента является прямой запрет на выведение на рынок любой трансформаторной продукции, которая не соответствует установленным классам энергетической эффективности.

Его юрисдикция распространяется на следующие аспекты:

- установление законодательных требований в области экодизайна, направленных на повышение энергоэффективности силовых трансформаторов;
- определение минимально допустимых классов эффективности для различных типов и мощностей трансформаторов;
- формирование обязательных правил для производителей по предоставлению технической документации и маркировке продукции.

Обязательная система классификации энергоэффективности масляных распределительных трансформаторов в ЕС, установленная Регламентом, использует буквенную градацию (от A₀ до C₀), аналогичную маркировке бытовой техники.

Эта регламентация обеспечивает объективное сравнение моделей разных производителей на едином рынке ЕС.

Разница потерь в трансформаторе в зависимости от его класса энергоэффективности представлена на рисунках 1 и 2.

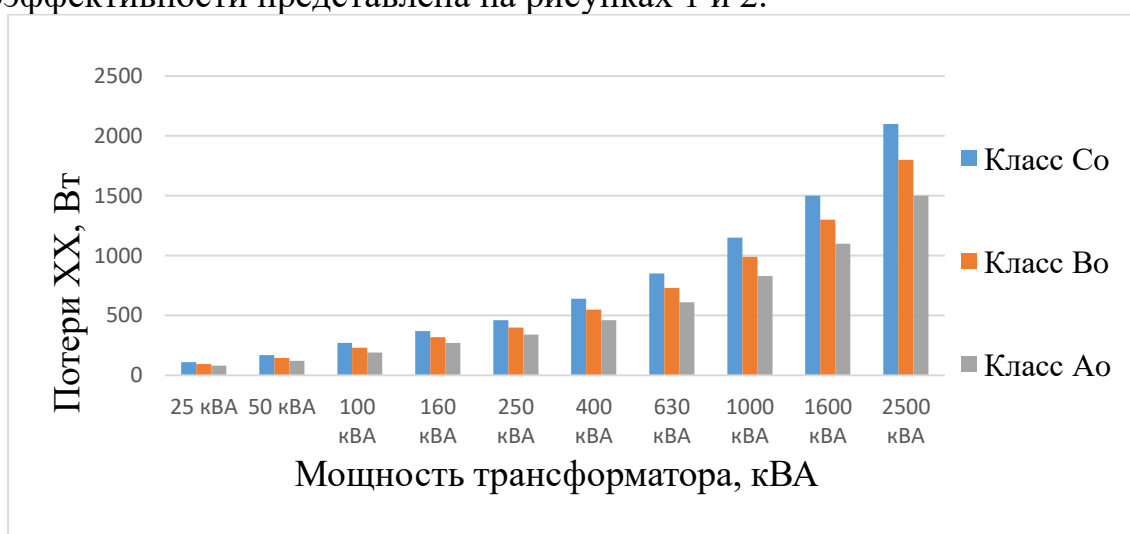


Рис. 1. Потери холостого хода в трансформаторах

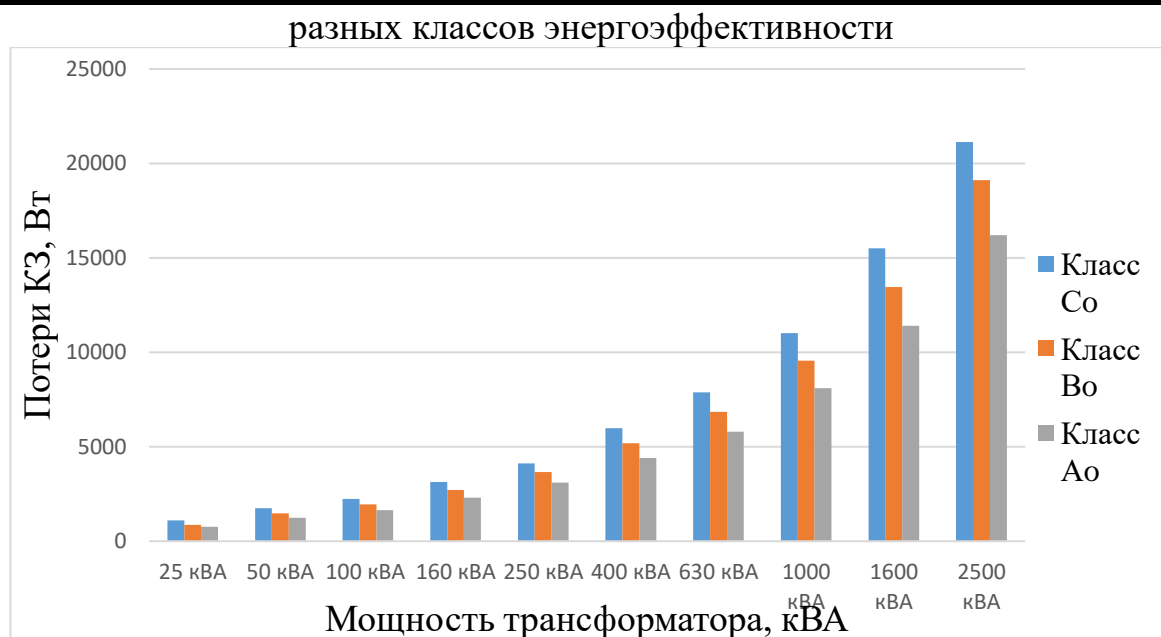


Рис. 2. Потери короткого замыкания в трансформаторах разных классов энергоэффективности

В отличие от европейского подхода, где используется единый и лаконичный класс энергоэффективности, российский отраслевой стандарт СТО 34.01-3.2-011-2021 внедряет значительно более сложную и технически детализированную систему идентификации. Данная методология была разработана для более точного и гибкого описания эксплуатационных характеристик оборудования, учитывающего специфику российских энергосетей. Вместо присвоения единого общего класса, в рамках этого стандарта применяется комбинированный двухбуквенный код, который отдельно характеризует два ключевых типа потерь, что позволяет проводить независимую оценку каждого вида энергетических затрат.

Первая часть кода (X): Символ «X» с цифровым индексом от 1 до 4 (X1-X4) указывает на уровень потерь холостого хода. Чем меньше цифра, тем выше потери (X1 – наименее эффективный уровень), и наоборот, X4 соответствует минимально возможным потерям холостого хода, что достигается за счет применения высококачественных магнитных материалов (на-пример, аморфной стали).

Вторая часть кода (K): Символ «K» с цифровым индексом от 1 до 3 (K1-K3) обозначает уровень потерь короткого замыкания. Аналогично, K1 характеризует наибольшие потери, а K3 – наименьшие, что зависит от конструктивных особенностей обмоток и используемых проводниковых материалов.

Итогом российской системы классификации является шкала, где начальная ступень энергоэффективности маркируется как X1K1, а

наивысшая – как Х4К3. [2] Ключевым отличием от европейского регламента, устанавливающего четыре категории, является наличие в отечественном стандарте двенадцати градаций для распределительных трансформаторов.

Таблица 1

Классы энергоэффективности трансформаторов по СТО 34.01-3.2-011-2021

$S_{нт}$, кВА	Потери, Вт						
	Класс энергоэффективности						
	X1	K1	X2	K2	X3	K3	X4
63	175	1280	160	1270	128	1031	104
100	260	1970	217	1591	180	1475	145
160	375	2900	300	2136	260	2000	210
250	520	3700	425	2955	360	2750	300
400	750	5400	565	4182	520	3850	430
630	1000	7600	696	6136	696	5600	560
1000	1400	10600	957	9545	940	9000	770
1250	1500	13500	1350	13250	1150	11000	950
1600	1950	16500	1478	15455	1450	14000	1200
2500	2600	26500	2130	23182	2100	22000	1750

Каждому уровню эффективности присвоена не только техническая маркировка, но и смысловая характеристика, отражающая степень технологического развития:

- стандартный уровень (1 класс) – соответствует базовым моделям, находящимся в серийном производстве;
- энергоэффективный уровень (2 класс) – характеризует изделия, созданные с применением усовершенствованных технологических решений;
- высокоэнергоэффективный уровень (3 класс) – присваивается оборудованию, в котором реализованы передовые производственные методики;
- инновационный уровень (4 класс) – относится к трансформаторам, изготовленным с использованием прорывных, инновационных технологий.

С 2021 года указание класса энергоэффективности в технической документации на распределительные трансформаторы является обязательным требованием.

Современный рынок электротехнического оборудования пополнился новыми поколениями масляных и сухих трансформаторов. Их производство базируется не только на применении инновационных магнитных и изоляционных материалов, но и на принципиально новых технологиях конструирования магнитопроводов и обмоток.

В рамках данного исследования проводится оценка класса энергоэффективности трансформатора на номинальную мощность 1000 кВА. Данные предоставлены в таблице 2.

На экономическую целесообразность выбора распределительных трансформаторов влияет график нагрузки объекта. Если суточный график нагрузки носит резкопеременный характер (например, бытовые системы электроснабжения), то лучше выбирать трансформаторы с наименьшим уровнем потерь холостого хода.

Таблица 2

Оценка класса энергоэффективности трансформатора на номинальную
мощность 1000 кВА

Параметр	Европейский стандарт (Класс A ₀)	Российский стандарт (Класс X4K3)	Сравнение
Потери холостого хода (P_0)	Не более 1150 Вт	Не более 1400 Вт	Требование ЕС жестче на 250 Вт
Потери короткого замыкания (P_K)	Не более 10200 Вт	Не более 9300 Вт	Требование РФ жестче на 900 Вт

Для промышленных предприятий с непрерывным циклом работы более целесообразно выбирать трансформаторы с меньшим уровнем потерь в обмотках (нагрузочные потери).

Список литературы:

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 20.10. 2025).

2. Стандарт ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-011-2021 «Трансформаторы силовые распределительные 6-10 кВ мощностью 63-2500кВА [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/1ca/hajt54fgghv02u8111mzw3xz2wc6v0qu.pdf?ysclid=m2tvlvz7mg923688323> (дата обращения: 20.10. 2025)

Информация об авторах:

Гарбузов Кирилл Игоревич, студент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, 222028@kuzstu.ru

Научный руководитель Долгопол Татьяна Леонидовна, старший преподаватель, КузГТУ 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, tdolgopol@yandex.ru