

# **VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

**202-1**

**17-23 ноября 2023 года**

---

**УДК 621.316**

М.И. ВЛАСЕНКО, студент гр. ЭПб-211 (КузГТУ)

Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, доцент (КузГТУ)

г. Кемерово

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВИДОВ ИЗОЛЯЦИИ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Силовые трансформаторы – это один из основных и важных элементов любой энергетической системы. За последний 40 лет помимо преимущественного применения масляных трансформаторов стали использоваться сухие трансформаторы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с масляными. Они обладают высокой экологичностью, отсутствие трансформаторного масла устраниет проблему загрязнения окружающей среды в случае его утечки. Сухие трансформаторы не пожароопасны и не взрывоопасны, имеют простую конструкцию и меньшие эксплуатационные затраты. У сухих трансформаторов больше габариты активной части в силу того, что трансформаторное масло обладает большей электрической прочностью и большей теплопроводностью и они дороже, чем масляные трансформаторы.

Использование новых материалов в конструкции распределительных трансформаторов, как сухих, так и масляных, а также новых технологий изготовления активной части направлены на повышение энергоэффективности силовых трансформаторов. Показателями энергоэффективности является величина потерь в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания) и потерь в магнитной системе (потери холостого хода).

В настоящее время примером энергоэффективных сухих трансформаторов являются трансформаторы с обмотками, залитыми эпоксидным компаундом с кварцевым наполнением (геафоль) [1]. Трансформаторы с геафолевой изоляцией выпускаются в открытом исполнении (ТСГЛ) и в защитном кожухе (ТСЗГЛ) и носят название трансформаторов с литой изоляцией.

Геафоль является материалом, не выделяющим токсичных газов и не оказывающим вредного влияния на окружающую среду. Обмотки трансформаторов пожаробезопасны, влагостойки, не требуют технического обслуживания. Имеют высокую стойкость к механическим усилиям, возникающим в режиме КЗ. Кроме этого, у сухих трансформаторов с литой

# VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

202-2

17-23 ноября 2023 года

---

изоляцией низкий уровень шума за счет изготовления их магнитопроводов с шихтовкой по схеме «Step-lap», а также благодаря литой изоляции.

Применение сухих трансформаторов с литой изоляцией позволяет максимально приближать их к потребителям, что приводит к сокращению длины низковольтных сетей и существенному снижению потерь электроэнергии в них. Кроме этого такое расположение источников питания исключает необходимость строительства отдельно стоящих подстанций.

Для защиты от перегрева трансформаторы с литой изоляцией комплектуются двухуровневым реле тепловой защиты, управляемым термисторами, встроенным в обмотки.

В табл. 1 приведены характеристики сухих трансформаторов типа ТСЗГЛ.

Таблица 1

Характеристики сухих трансформаторов

Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение ВН/НН	Потери ХХ, Вт	Потери КЗ, Вт	Уровень шума, dB
250	10/0,4	690/540	3400	65
400	10/0,4	1000/780	5000	68
500	10/0,4	1200/940	5700	69
630	10/0,4	1370/1100	6600	70
800	10/0,4	1700/1330	7700	72
1000	10/0,4	2000/1500	8800	73
1250	10/0,4	2400/1880	10500	75
1600	10/0,4	2800/2100	12700	76
2000	10/0,4	3500/2750	19000	78
2500	10/0,4	4300/3000	22600	81

**VI Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
202-3  
17-23 ноября 2023 года**

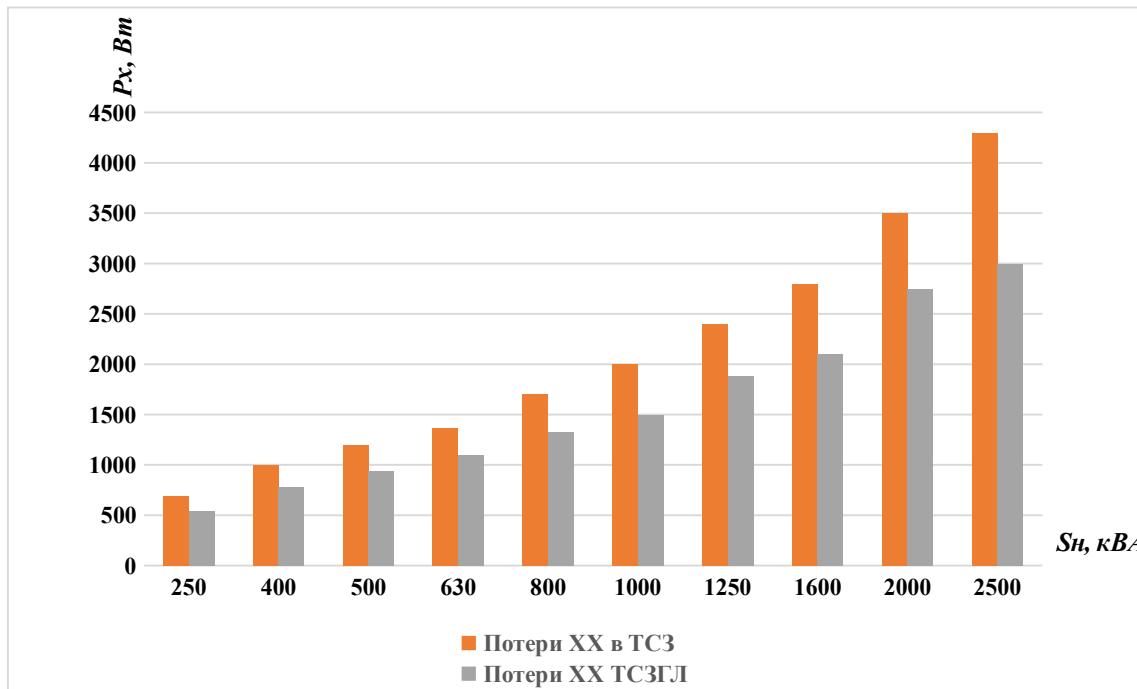


Рис. 1. Гистограмма сравнения потерь XX

В табл. 1 в числите указаны потери холостого хода трансформаторов типа ТСЗ, в знаменателе - ТСЗГЛ. Как следует из табл. и гистограммы, в среднем значения потерь XX в трансформаторах с литой изоляцией меньше на 30 %, чем в трансформаторах с традиционно используемыми изоляционными материалами. Кроме этого, трансформаторы с литой изоляцией, в отличие от ТСЗ, имеют обмотки, которые не подвергаются увлажнению и загрязнению.

Также в настоящее время появились сухие трансформаторы, которые изготавливают по безвакуумной технологии, разработанной компанией АВВ. Цилиндрическая обмотка высшего напряжения (ВН) такого сухого трансформатора изготавливается путем поочередного применения слоевой намотки, которая гарантирует способность выдерживать грозовые импульсы за счет распределения линейного импульсного напряжения и межслоевой изоляции, состоящей из ровинга (стеклянного волокна).

Трансформаторы с обмотками, выполненными по такой технологии, получили название «RESIBLOC». Обмотки имеют вид монолитного блока, усилены стекловолокном, пропитанным эпоксидным компаундом. Такие трансформаторы имеют высокую электрическую и механическую прочность, которая исключает опасность возникновения трещин в обмотках, пожаробезопасность, экологичность, эксплуатируются в особых условиях и могут быть предназначены для нестандартного применения: для установки в энергетических системах морских судов и речного флота,

# VI Международная молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

202-4

17-23 ноября 2023 года

на атомных и ветряных станциях, в горнодобывающей промышленности [3].

Также компания ABB разработала ряд ультраэффективных трансформаторов «EcoDry» [4]. Есть 3 разновидности этих трансформаторов:

- EcoDry<sup>Basic</sup> предназначен для средних и низких нагрузок и позволяет сократить потери холостого хода на 70%;
- EcoDry<sup>Ultra</sup> для средних и сильных переменных нагрузок – снижение суммарных потерь на 45%;
- EcoDry<sup>99Plus</sup> при высокой нагрузке сокращает суммарные потери на 30%, в отличие от стандартных трансформаторов сухого типа (табл. 2).

Трансформатор EcoDry<sup>Basic</sup> является высокотехнологичным устройством. Для создания минимальных потерь и повышенной энергоэффективности применяются передовые современные материалы и высококачественные компоненты, в том числе аморфная сталь сердечника. Эта сталь имеет неупорядоченную структуру, имеет сталиудельное электрическое сопротивление в два раза выше, чем у холоднокатанной электротехнической стали, а толщина листов – 0,025 мм, т.е. на порядок меньше, чем у традиционно используемой стали для изготовления магнитопроводов (0,23 – 0,35 мм). Это и обуславливает значительное снижение потерь холостого хода и высокую стоимость данного оборудования. Также стоит отметить, что эти трансформаторы отличаются превосходными экологическими свойствами - позволяет снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 50%.

Таблица 2

## Сравнение характеристик сухих трансформаторов

Наименование параметра	Сухой трансформатор ТСЗ	Ультраэффективный трансформатор «EcoDry»
Номинальная мощность, кВА	1000	1000
Потери х.х., Вт	2000	1500
Потери под нагрузкой, Вт	10 120	6 785
КПД при полной нагрузке, %	98,79	99,17
Потери энергии, ежегодно, кВт·ч	106 171	72 577
Выбросы CO <sub>2</sub> , т/год	57,4	39,3

Из табл. 2 следует, что при использовании трансформатора «EcoDry» снижаются выбросы углекислого газа CO<sub>2</sub> на 18 тонн в год, значит,

**VI Международная молодежная научно-практическая  
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
202-5  
17-23 ноября 2023 года**

---

---

уменьшается вредное влияние на окружающую среду, а также потери энергии при полной нагрузке существенно меньше на 33 594 кВт.ч.

В данной статье мы рассмотрели виды изоляции и новые технологии в сухих трансформаторах, которые сейчас активно используются в трансформаторостроении.

**Список литературы:**

1. Щеглов, Н. В. Современные виды изоляции. Ч 4. Изоляция силовых трансформаторов [Текст] / Н. В. Щеглов — Новосибирск: НГТУ, 2011 — 88 с.
2. Сухие силовые трансформаторы – URL: <https://www.tor-trans.com.ua/drytrans.html> (дата обращения 07.10.2023)
3. RESIBLOC. Сухие распределительные трансформаторы -URL: [https://library.e.abb.com/public/6d149e28b705db0cc1257b130057eced/RESIBLOC\\_%20RU.pdf](https://library.e.abb.com/public/6d149e28b705db0cc1257b130057eced/RESIBLOC_%20RU.pdf) (дата обращения 09.10.2023)
4. EcoDry: сверхэффективный трансформатор сухого типа. Сокращает затраты при минимальном воздействии на окружающую среду – URL: [https://library.e.abb.com/public/d5e930ab82794f939435cf1b390baf38/EcoDry%20Ultra-efficient%20dry-type%20transformers.\\_ru.pdf](https://library.e.abb.com/public/d5e930ab82794f939435cf1b390baf38/EcoDry%20Ultra-efficient%20dry-type%20transformers._ru.pdf)

**Информация об авторах:**

Власенко Мария Игоревна, студент гр. ЭПб-211, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, masha.vlasencko2018@yandex.ru

Долгопол Татьяна Леонидовна, доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, tdolgopol@yandex.ru