

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (2026)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/2710-3420>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Алиферов А. И.,

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Кошеков К. Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е. В.,

к.т.н., профессор

Кислов А. П.,

к.т.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Шеръязов С. К.

т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)

Искакова З. С.

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***О. Ш. Налибаев¹, Е. А. Сарсенбаев², Ә. К. Ерқоңыр³**

^{1,2}Satbayev University,

Республика Казахстан, г. Алматы;

³Жезказганский университет,

Республика Казахстан, г. Жезказган.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5826-6003>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-1171>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3296-976X>

КОНСТРУКТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АКТИВНОЙ ЧАСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТМГВЭ-630/10-0,4 КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

В статье представлено расчетно-экспериментальное обоснование конструктивной оптимизации активной части распределительного трансформатора ТМГвэ-630/10-0,4 номинальной мощностью 630 кВА, направленной на повышение его энергетической эффективности и снижение эксплуатационных потерь. Проведен комплексный анализ влияния изменения ключевых конструктивных параметров на характеристики устройства. В частности, рассмотрено влияние снижения рабочей магнитной индукции в магнитопроводе, применения холоднокатаной электротехнической стали с улучшенными магнитными свойствами толщиной 0,23 мм и удельными потерями 0,95 Вт/кг, а также использования алюминиевой фольги в обмотке низшего напряжения на величину потерь холостого хода и короткого замыкания.

Разработана расчетная схема, позволяющая количественно оценить совокупные магнитные и электрические потери с учетом особенностей выбранных материалов и конструктивных решений. Выполнена инженерная интерпретация полученных зависимостей, позволяющая обосновать выбор оптимальных параметров активной части трансформатора. Дополнительно проведена экспериментальная верификация предложенных решений на изготовленном опытном образце с использованием стандартных методов прямо-сдаточных испытаний.

По результатам испытаний установлено, что фактические значения потерь составили $P_o = 577$ Вт и $P_k = 5743$ Вт, что свидетельствует о снижении удельных потерь по сравнению с типовыми аналогами. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода к модернизации активной части и демонстрируют его практическую применимость при разработке энергоэффективных распределительных трансформаторов среднего класса мощности с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: энергоэффективный трансформатор, активная часть, магнитопровод, электротехническая сталь, алюминиевая фольга, потери холостого хода, потери короткого замыкания.

Введение

В условиях роста энергопотребления, повышения стоимости электроэнергии и ужесточения требований к энергоэффективности электросетевого оборудования особое значение приобретает снижение эксплуатационных потерь в распределительных трансформаторах [1; 2]. Международные регуляторные подходы, включая Ecodesign для силовых трансформаторов и обновленные требования Министерства энергетики США, ориентируют производителей на снижение потерь холостого хода и короткого замыкания при сохранении надежности и ресурса оборудования 920.

Для распределительных сетей 6-10 кВ трансформаторы мощностью 400-1000 кВА являются базовым элементом подстанционного оборудования. При круглосуточной работе даже умеренное уменьшение удельных потерь приводит к значимому суммарному энергетическому эффекту. Поэтому повышение энергоэффективности в данном классе оборудования является не только задачей эксплуатационной экономичности, но и частью общей технической политики в области снижения сетевых потерь [3; 4].

Энергетические потери в силовом трансформаторе определяются двумя основными составляющими, а именно- потерями холостого хода P_o , возникающими в магнитопроводе, и потерями короткого замыкания P_k , связанными с активным сопротивлением обмоток и добавочными потерями в токоведущих элементах [5]. В этой связи целью работы является расчетно-экспериментальное обоснование конструктивных решений по модернизации активной части трансформатора ТМГвз-630/10-0,4, направленных на снижение магнитных и электрических потерь.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- выполнено расчетно-экспериментальное обоснование оптимизации активной части трансформатора ТМГвэ-630/10-0,4;
- предложено конструктивное сочетание пониженной рабочей индукции 1,57 Тл и применения алюминиевой фольговой обмотки НН;
- экспериментально подтверждено снижение потерь холостого хода и короткого замыкания в условиях промышленного изготовления.

В работе выполнены систематизация исходных параметров конструкции, аналитическое описание влияния принятых материалов и геометрических решений на уровень потерь, а также инженерная интерпретация результатов приемо-сдаточных испытаний изготовленного образца.

Материалы и методы

Исходные параметры исследуемого трансформатора приведены в таблице 1. Они соответствуют фактически изготовленному образцу ТМГвэ-630/10-0,4 и используются как базовые для оценки составляющих потерь холостого хода и короткого замыкания [6, с. 69–80].

Таблица 1 – Исходные данные проектируемого трансформатора

Параметр	Обозначение	Значение	Примечание
Номинальная мощность	S_n	630 кВА	трехфазный трансформатор
Номинальное напряжение ВН	UBH	10 кВ	линейное
Номинальное напряжение НН	UHH	0,4 кВ	линейное
Номинальная частота	f	50 Гц	
Группа соединения	-	D/Yn-11	по протоколу испытаний
Материал обмотки ВН	-	Al	алюминиевый проводник
Материал обмотки НН	-	Al-фольга	алюминиевая фольга
Толщина листа стали	t	0,23 мм	холоднокатаная электротехническая сталь
Удельные потери стали	pFe	0,95 Вт/кг	при f = 50 Гц и B ≈ 1,5 Тл
Индукция в магнитопроводе	B	1,57 Тл	при Dст = 211 мм
Диаметр стержня	Dст	211 мм	диаметр описанной окружности по стержню

Методика расчета основана на раздельном рассмотрении магнитных и электрических потерь. На первом этапе оцениваются потери холостого хода как сумма гистерезисной и вихревой составляющих, определяемых свойствами магнитопровода и режимом намагничивания. На втором этапе рассчитываются потери короткого замыкания, зависящие от активного сопротивления обмоток и добавочных потерь, связанных с рассеянием магнитного поля и неравномерностью распределения токов [7; 8]. Такой подход позволяет целенаправленно связать каждое конструктивное решение с соответствующим видом потерь.

Потери холостого хода и инженерная интерпретация их снижения

Потери холостого хода в рассматриваемом трансформаторе определяются, прежде всего, характером перемагничивания сердечника и свойствами электротехнической стали. Для аналитического описания примем разложение суммарных потерь на гистерезисную и вихревую составляющие.

$$P_0 = P_{\text{гист}} + P_{\text{вихр}} \quad (1)$$

где $P_{\text{гист}}$ – гистерезисные потери;

$P_{\text{вихр}}$ – потери от вихревых токов.

Гистерезисные потери можно представить в виде зависимости

$$P_{\text{гист}} = k_h \cdot f \cdot B^\alpha \cdot m \quad (2)$$

где k_h – коэффициент гистерезисных потерь материала;

f – частота сети;

B – магнитная индукция;

α – показатель степени для электротехнической стали;

m – масса магнитопровода.

Для принятой стали с удельными потерями 0,95 Вт/кг при индукции около 1,5 Тл оценка рабочего уровня потерь при $B = 1,57$ Тл выполняется по степенной зависимости

$$\begin{aligned} p_{\text{уд}}(1,57) &= 0,95 \cdot \left(\frac{1,57}{1,5}\right)^2 \\ p_{\text{уд}}(1,57) &\approx 1,04 \text{ Вт/кг} \end{aligned} \quad (3)$$

Инженерно это означает, что выбор умеренной рабочей индукции сдерживает непропорциональный рост потерь при приближении к области насыщения. Иными словами, дальнейшее увеличение B после уровня 1,6-1,7 Тл становится энергетически нецелесообразным, выигрыш в массогабаритных показателях оказывается ниже, чем рост потерь в магнитопроводе [9, с. 515–528].

Вихревые потери в магнитопроводе аналитически описываются выражением

$$P_{\text{вихр}} = k_e \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot t^2 \cdot m \quad (4)$$

где k_e – коэффициент материала; t – толщина листа стали.

Снижение толщины листа до 0,23 мм и применение шихтования с косым стыком step-lap оказывают комплексное влияние на уменьшение вихревых потерь. Уменьшается длина замкнутых контуров токов, снижаются локальные зоны концентрации магнитного потока в углах сердечника, улучшается распределение магнитного поля по стыкам пластин. С инженерной точки зрения именно сочетание материала и технологии сборки магнитопровода обеспечивает устойчивое снижение P_0 без перехода к более дорогим типам стали [10].

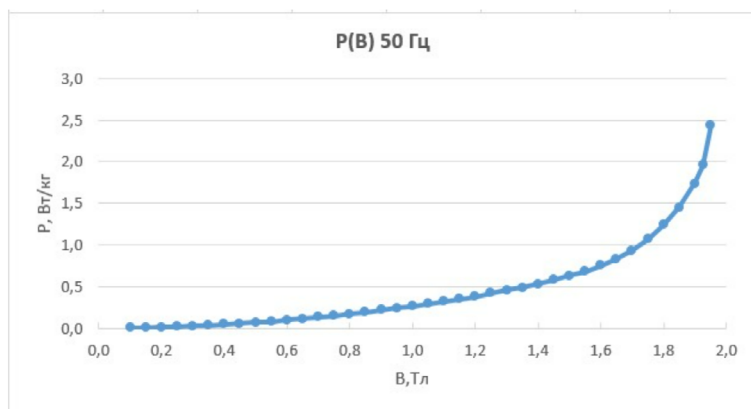


Рисунок 1 – Зависимость удельных потерь электротехнической стали от магнитной индукции при $f = 50$ Гц

Кривая на рисунке 1 имеет выраженный нелинейный характер. После 1,6-1,7 Тл наблюдается ускоренный рост удельных потерь, что подтверждает корректность выбора рабочей индукции 1,57 Тл для рассматриваемой конструкции. По результатам приемо-сдаточных испытаний фактические потери холостого хода составили $P_0 = 577$ Вт, что подтверждает адекватность принятой магнитной системы и выбранных параметров магнитной нагрузки. Интерпретация влияния принятых конструктивных решений на уровень потерь приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Инженерная интерпретация влияния принятых конструктивных решений на уровень потерь

Конструктивное решение	Механизм влияния	Инженерный эффект
Снижение индукции до 1,57 Тл	Ограничение интенсивности перемagnичивания и удаление режима от области насыщения	Стабилизация гистерезисных потерь и предотвращение их резкого роста
Сталь 0,23 мм с удельными потерями 0,95 Вт/кг	Снижение потерь в листовом материале и уменьшение толщины токовых контуров	Уменьшение суммарных магнитных потерь
Step-lap шихтование	Снижение локальных концентраций магнитного потока в зонах стыков	Сокращение вихревых потерь и улучшение распределения магнитного поля
Алюминиевая фольга в обмотке НН	Выравнивание плотности тока и уменьшение рассеяния поля в проводнике	Снижение добавочных потерь и улучшение тепловой устойчивости

Потери короткого замыкания и влияние фольговой обмотки НН

Потери короткого замыкания формируются в обмотках трансформатора и зависят от величины тока, активного сопротивления проводников и добавочных потерь, обусловленных рассеянием магнитного поля. Базовая составляющая P_k определяется зависимостью

$$P_k = I^2 \cdot R_{\text{экв}} \quad (5)$$

где I – ток нагрузки;

$R_{\text{экв}}$ – эквивалентное активное сопротивление обмоток.

Номинальные токи для исследуемого трансформатора рассчитываются по выражениям

$$\begin{aligned}
 I_{\text{НН}} &= \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} \\
 I_{\text{НН}} &= \frac{630000}{1,732 \cdot 400} \\
 I_{\text{НН}} &\approx 909 \text{ A} \\
 I_{\text{ВН}} &= \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$I_{BH} = \frac{630000}{1,732 \cdot 10000} \quad (7)$$

$$I_{BH} \approx 36,4 \text{ A}$$

Сопротивление проводника определяется классической зависимостью

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (8)$$

где ρ – удельное сопротивление материала;

l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения.

Для алюминия принимаем удельное электрическое сопротивление $\rho_{Al} = 2,82 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Из данного выражения следует, что снижение сопротивления достигается либо за счет уменьшения длины витка, либо за счет оптимизации эффективного сечения и характера распределения тока в проводнике.

Применение алюминиевой фольги в обмотке низшего напряжения обеспечивает следующие возможности, указанные на рисунке 2 [11].

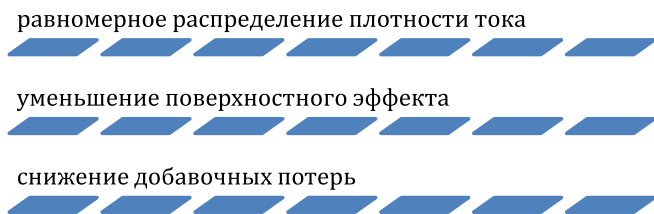


Рисунок 2 – Возможности алюминиевой фольги в обмотке низшего направления

Для инженерной практики это важно тем, что фольговая обмотка одновременно улучшает электрические и тепловые условия работы без существенного усложнения технологии изготовления.

Добавочные потери можно представить в обобщенном виде как

$$P_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot I^2 \quad (9)$$

где коэффициент $k_{\text{доп}}$ характеризует влияние рассеяния поля и неравномерности распределения тока в обмотке. При фольговой конструкции величина $k_{\text{доп}}$ уменьшается, что непосредственно влияет на снижение суммарных потерь короткого замыкания.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная проверка выполнена на изготовленном образце трансформатора ТМГвэ-630/10-0,4, произведенном на АО «Кентауский трансформаторный завод». Приемо-сдаточные испытания проведены в аккредитованной лаборатории в соответствии с ISO/IEC 17025. По результатам испытаний фактические потери короткого замыкания составили $P_k = 5743$ Вт, а потери холостого хода – $P_o = 577$ Вт. Как видно в таблице 3, согласование расчетных и экспериментальных данных подтверждает корректность принятых инженерных решений и реализуемость предложенной конструкции в условиях промышленного производства.

Таблица 3 – Сопоставление экспериментальных результатов с контрольными и нормативными ориентирами

Параметр	Контрольный ориентир	Получено при испытаниях	Оценка
P_o	Пониженный уровень потерь для энергоэффективного исполнения; приемо-сдаточный контроль по программе испытаний	577 Вт	Соответствует
P_k	Норма по протоколу испытаний: 6160 Вт (допуск +10 %)	5743 Вт	Соответствует
Нормативная база	СТО 34.01-3.2-011-2019	—	Учтена при интерпретации результатов

Полученные результаты показывают, что снижение потерь в рассматриваемой конструкции обеспечивается не отдельным приемом, а совокупностью взаимосвязанных технических решений. Снижение рабочей индукции влияет, прежде всего, на гистерезисную составляющую. Малая толщина стали и step-lap шихтование уменьшают вихревые потери. Применение алюминиевой фольги в обмотке НН снижает как активные, так и добавочные потери. С инженерной точки зрения это означает, что рациональная оптимизация активной части должна рассматриваться как согласование магнитных, электрических и тепловых факторов, а не как локальное усовершенствование одного узла.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы при проектировании энергоэффективных распределительных трансформаторов мощностью 400-1000 кВА, а также

при модернизации существующих конструкций для распределительных сетей 6-10 кВ. Предложенный подход может быть применен на стадии конструкторской проработки при выборе материалов магнитопровода, рабочей индукции и типа обмотки низшего напряжения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с применением FEM-моделирования для уточнения распределения магнитных потоков и добавочных потерь, а также с развитием цифровых методов мониторинга состояния трансформаторов, позволяющих оценивать изменение потерь в эксплуатации. Дополнительный интерес представляет анализ теплового поведения фольговых обмоток при несимметричных режимах нагрузки и сравнение различных марок электротехнической стали по критерию интегральной энергоэффективности.

Выводы

В работе выполнено расчетно-экспериментальное обоснование конструктивной оптимизации активной части распределительного трансформатора ТМГвэ-630/10-0,4 мощностью 630 кВА.

Снижение магнитных потерь достигнуто за счет применения холоднокатаной электротехнической стали толщиной 0,23 мм с удельными потерями 0,95 Вт/кг и выбора рабочей индукции 1,57 Тл при диаметре стержня 211 мм.

Снижение потерь короткого замыкания обеспечено оптимизацией плотности тока и применением алюминиевой фольги в обмотке низшего напряжения.

По результатам приемо-сдаточных испытаний получены значения $P_0 = 577$ Вт и $P_k = 5743$ Вт. Полученные данные согласуются с расчетной логикой работы трансформатора и подтверждают эффективность принятых конструктивных решений.

Предложенные инженерные решения формируют устойчивую модель повышения энергоэффективности распределительных трансформаторов среднего класса мощности и могут служить основой для дальнейшей оптимизации их конструкции с учетом требований энергосбережения и современной нормативной базы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 IEEE Std C57.12.00-2015. Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. – New York : IEEE, 2015.

- 2 U.S. Department of Energy. Energy Conservation Program: Test Procedures for Distribution Transformers. – Washington : U.S. Department of Energy, 2016.
- 3 ГОСТ 11677-2020. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2020.
- 4 Commission Regulation (EU) 2019/1783 of 1 October 2019 implementing Directive 2009/125/EC with regard to ecodesign requirements for power transformers. – Brussels : European Commission, 2019.
- 5 СТО 34.01-3.2-011-2019. Трансформаторы силовые распределительные 6–10 кВ мощностью 63–2500 кВА. Требования к уровню потерь холостого хода и короткого замыкания. – Москва, 2019.
- 6 **Наумов, И. И.** Комбинированное техническое средство для повышения качества и снижения потерь электроэнергии в низковольтных электрических сетях // Вестник Курганской ГСХА. 2024. – №1 – С. 69–80.
- 7 **Бойчук, В. С.** Электрооборудование энергетических систем: учебное пособие /В. С. Бойчук, А. В. Куксин. – М. : Инфра-Инженерия, 2021. – 268 с.
- 8 **Алюнов, А. Н.** Схемы систем электроснабжения и проектные решения: учебное пособие / Алюнов А. Н., Вяткина О. С., Смирнов И. Н. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. – 83 с.
- 9 **Kulkarni, S. V., Khaparde, S. A.** Transformer Engineering: Design and Practice. – New York : Marcel Dekker, 2012. – 720 p.
- 10 **Harlow, J.** Electric Power Transformer Engineering. – Boca Raton : CRC Press LLC, 2017. – 241 p.
- 11 **McLyman, C.** Transformer and Inductor Design Handbook. – 4th ed. – Boca Raton : CRC Press, 2011.

REFERENCES

- 1 IEEE Std C57.12.00-2015. Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. New York : IEEE, 2015.
- 2 U. S. Department of Energy. Energy Conservation Program : Test Procedures for Distribution Transformers. Washington : U. S. Department of Energy, 2016.
- 3 GOST 11677-2020. Transformatory silovye. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Power transformers. General technical specifications] [Text]. – Moscow : Standartinform, 2020.

4 Commission Regulation (EU) 2019/1783 of 1 October 2019 implementing Directive 2009/125/EC with regard to ecodesign requirements for power transformers // Brussels : European Commission, 2019.

5 STO 34.01-3.2-011-2019. Transformatory silovye raspredelitelnye 6–10 kV moshchnostyu 63–2500 kVA. Trebovaniya k urovnyu poter kholostogo khoda i korotkogo zamykaniya [Distribution power transformers 6–10 kV with capacity of 63–2500 kVA. Requirements for no-load and short-circuit losses] [Text]. – Moscow, 2019.

6 **Naumov, I. I.** Kombinirovannoe tekhnicheskoe sredstvo dlya povysheniya kachestva i snizheniya poter elektroenergii v nizkovolnykh elektricheskikh setyakh [Combined technical solution for improving quality and reducing power losses in low-voltage electrical networks] // Vestnik Kurganskoi GSKhA. – 2024. – No. 1. – P. 69–80.

7 **Boichuk, V. S.** Elektrooborudovanie energeticheskikh sistem : uchebnoe posobie [Electrical equipment of power systems: textbook]. – Moscow : Infra-Inzheneriya, 2021. – 268 p.

8 **Alyunov, A. N.** Skhemy sistem elektrosnabzheniya i proektnye resheniya : uchebnoe posobie [Power supply system schemes and design solutions: textbook]. – Vologda : Vologda State University, 2022. – 83 p.

9 **Kulkarni, S. V., Khaparde, S. A.** Transformer Engineering : Design and Practice. – New York : Marcel Dekker, 2012. – 720 p.

10 **Harlow, J.** Electric Power Transformer Engineering. – Boca Raton : CRC Press LLC, 2017. – 241 p.

11 **McLyman, C.** Transformer and Inductor Design Handbook. 4th ed. – Boca Raton : CRC Press, 2011.

Поступило в редакцию 09.04.26.

Поступило с исправлениями 28.04.26.

Принято в печать 02.09.26.

**О. Ш. Налибаев¹, Е. А. Сәрсенбаев², Ә. К. Ерқоңыр³*

^{1,2}Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

³Жезқазған университеті, Қазақстан Республикасы, Жезқазған қ.

09.04.26 ж. баспаға түсті.

28.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

02.09.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

**ТМГВЭ-630/10-0,4 ТАРАТУ ТРАНСФОРМАТОРЫНЫҢ
БЕЛСЕНДІ БӨЛІГІН КОНСТРУКТИВТІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ
– ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ШЫҒЫНДАРДЫ
ТӨМЕНДЕТУ ӘДІСІ РЕТІНДЕ**

Мақалада номиналды қуаты 630 кВА болатын ТМГвэ-630/10-0,4 тарату трансформаторының белсенді бөлігін конструктивтік оңтайландырудың есептік-тәжірибелік негіздемесі ұсынылған. Зерттеу трансформатордың энергетикалық тиімділігін арттыруға және пайдалану барысында туындайтын шығындарды азайтуға бағытталған. Жұмыста негізгі конструктивтік параметрлердің өзгеруінің құрылғы сипаттамаларына әсері жан-жақты талданған. Атап айтқанда, магнитөткізгіштегі жұмыс магниттік индукциясын төмендетудің, қалыңдығы 0,23 мм және меншікті шығыны 0,95 Вт/кг болатын суықтай илектелген электротехникалық болатты қолданудың, сондай-ақ төменгі кернеу орамында алюминий фольгасын пайдаланудың бос жүріс және қысқа тұйықталу шығындарына әсері қарастырылған.

Таңдалған материалдар мен конструктивтік шешімдердің ерекшеліктерін ескере отырып, магниттік және электрлік шығындарды сандық бағалауға мүмкіндік беретін есептік схема әзірленді. Алынған нәтижелерге инженерлік түсіндірме және трансформатордың белсенді бөлігінің оңтайлы параметрлерін таңдауға негіз берілді. Сонымен қатар, ұсынылған шешімдер тәжірибелік үлгіде тексеріліп, қабылдау-тапсыру сынақтары стандартты әдістер бойынша жүргізілді.

Сынақ нәтижелері бойынша нақты шығындар $P_o = 577$ Вт және $P_k = 5743$ Вт мәндерін көрсетті. Бұл көрсеткіштер ұсынылған тәсілдің тиімділігін дәлелдейді және орта қуатты энергия үнемдейтін тарату трансформаторларын әзірлеуде практикалық тұрғыдан қолдануға болатындығын айқындайды.

Кілтті сөздер: энергия үнемдейтін трансформатор, белсенді бөлік, магнитөткізгіш, электротехникалық болат, алюминий фольгасы, бос жүріс шығындары, қысқа тұйықталу шығындары.

*O. Sh. Nalibayev¹, Y. A. Sarsenbayev², A. K. Yerqongyr³

^{1,2}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty;

³Zhezkazgan University, Republic of Kazakhstan, Zhezkazgan.

Received 09.04.26.

Received in revised form 28.04.26.

Accepted for publication 02.09.26.

CONSTRUCTIVE OPTIMIZATION OF THE ACTIVE PART OF A TMGVE-630/10-0.4 DISTRIBUTION TRANSFORMER AS A METHOD FOR REDUCING ENERGY LOSSES

This article presents a theoretical and experimental justification for the design optimization of the active part of the TMGve-630/10-0.4 distribution transformer with a rated capacity of 630 kVA, aimed at improving its energy efficiency and reducing operating losses. A comprehensive analysis of the effect of changes in key design parameters on the device's characteristics was conducted. In particular, the study examined the effect of reducing the operating magnetic flux density in the magnetic circuit, the use of cold-rolled electrical steel with improved magnetic properties, a thickness of 0.23 mm, and specific losses of 0.95 W/kg, as well as the use of aluminum foil in the low-voltage winding on the magnitude of no-load and short-circuit losses.

A calculation scheme has been developed that allows for a quantitative assessment of the total magnetic and electrical losses, taking into account the characteristics of the selected materials and design solutions. An engineering interpretation of the obtained dependencies was performed, allowing the selection of optimal parameters for the active part of the transformer to be justified. Additionally, experimental verification of the proposed solutions was conducted on a manufactured prototype using standard acceptance test methods.

Test results showed that the actual power loss values were $P_o = 577\text{ W}$ and $P_k = 5743\text{ W}$, indicating a reduction in specific power loss compared to standard counterparts. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed approach to modernizing the active part and demonstrate its practical applicability in the development of energy-efficient medium-power distribution transformers with improved operational characteristics.

Keywords: energy-efficient transformer, active part, magnetic core, electrical steel, aluminum foil, no-load losses, short-circuit losses.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

19,0 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.

Электронное издание

19,0 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4601

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz