

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.423:621.3.027

doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-59-64

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Николай Александрович Лукашов<sup>1✉</sup>, Виталий Сергеевич Суслов<sup>2</sup>,  
Артём Михайлович Масонов<sup>3</sup>, Олег Сергеевич Маганков<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

<sup>2</sup> ООО «АИР», Брянская обл. г. Жуковка, Россия

<sup>3</sup> ОАО «РЖД», г. Москва, Россия

<sup>4</sup> ОП ООО «ТМХ Инжиниринг» в г. Брянск, Россия

<sup>1</sup> Lukashov32@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-6733-2039>

<sup>2</sup> v.suslov99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>3</sup> artemmasonov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>4</sup> o.magankov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Аннотация.** На грузовых локомотивах асинхронный тяговый привод работает при тяжелых режимах и небольшой интенсивности охлаждения, что способствует перегреву обмоток и тепловому пробоев их изоляции. Исходя из этого, необходимо более детальное изучение теплового состояния тягового асинхронного двигателя, а также способов предотвращения его перегрева, способствующего быстрому изнашиванию обмоток ротора и их изоляции. В связи с чем актуальной является задача в определении влияния формы пазов ротора, которые, в свою очередь, определяют сечения стержней обмотки, на тепловое состояние тягового асинхронного двигателя. На основе проведенного анализа исследований отечественных и зарубежных ученых были рассмотрены варианты сечений стержней обмотки ротора такие как: прямоугольные, трапецевидные, лопаточные, грушевидные и колбообразные. Для каждого сечения стержней рассчитывались показатели теплового состояния, на основании которых предложен оптимальный вариант сечения, который снизит температуру обмоток ротора при работе тягового асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** тяговый асинхронный двигатель, обмотка, ротор, стержень, теплоотдача

**Для цитирования:** Лукашов Н.А., Суслов В.С., Масонов А.М., Маганков О.С. Оптимизация работы асинхронного тягового привода локомотива за счет снижения температуры обмоток ротора электродвигателя // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2025. №1 (27). С. 59-64. doi: 10.30987/2658-6436-2025-3-59-64.

Original article

Open Access Article

## OPTIMIZATION OF THE ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE OF A LOCOMOTIVE BY REDUCING THE TEMPERATURE OF THE ELECTRIC MOTOR ROTOR WINDINGS

Nikolay A. Lukashov<sup>1✉</sup>, Vitaly S. Suslov<sup>2</sup>, Artem M. Masonov<sup>3</sup>, Oleg S. Magankov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>2</sup> AIR LLC, Zhukovka, the Bryansk region, Russia

<sup>3</sup> Open Joint Stock Company Russian Railways, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Separate Subdivision of Transmashholding Engineering LLC in Bryansk, Russia

<sup>1</sup> Lukashov32@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0005-6733-2039>

<sup>2</sup> v.suslov99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>3</sup> artemmasonov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

<sup>4</sup> o.magankov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Abstract.** *On freight locomotives, asynchronous traction drives operate under heavy-duty conditions with limited cooling intensity, which contributes to overheating the windings and thermal breakdown of their insulation. Therefore, a more detailed study of the thermal state of the traction asynchronous motor is necessary, as well as of the methods to prevent its overheating, which leads to rapid wear of the rotor windings and their insulation. Consequently, a key task is to determine the influence of the rotor slot shape, which in turn defines the cross-sectional area of the winding bars on the thermal state of the traction asynchronous motor. Based on the research analysis of domestic and foreign scientists, various cross-sectional shapes for the rotor winding bars are considered, such as rectangular, trapezoidal, blade-shaped, pear-shaped, and bulbous ones. For each cross-section of the bars, the authors calculate thermal performance indicators, based on which they propose an optimal cross-section variant that will reduce the temperature of the rotor windings during operation of the traction asynchronous motor.*

**Keywords:** traction asynchronous motor, winding, rotor, bar, heat transfer

**For citation:** Lukashov N.A., Suslov V.S., Masonov A.M., Magankov O.S. Optimization of the Asynchronous Traction Drive of a Locomotive by Reducing the Temperature of the Electric Motor Rotor Windings. Automation and modeling in design and management, 2025, no. 1 (27). pp. 59-64. doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-59-64.

Асинхронный тяговый привод нашел широкое применение на подвижном составе отечественного и зарубежного производства. К числу достоинств тягового асинхронного привода можно отнести следующие: простота устройства, высокая надежность, жесткая естественная характеристика, уменьшение веса за счет меньшего расхода меди, снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт. Данные достоинства являются перспективными для применения электрических передач переменного тока при производстве отечественных локомотивов нового поколения, а совершенствование характеристик асинхронного тягового привода является передовой задачей для инженеров.

В нашей стране такой вид передачи установлен на маневровых четырехосных тепловозах ТЭМ21 и 2ТЭ25А, построенных Брянским машиностроительным заводом.

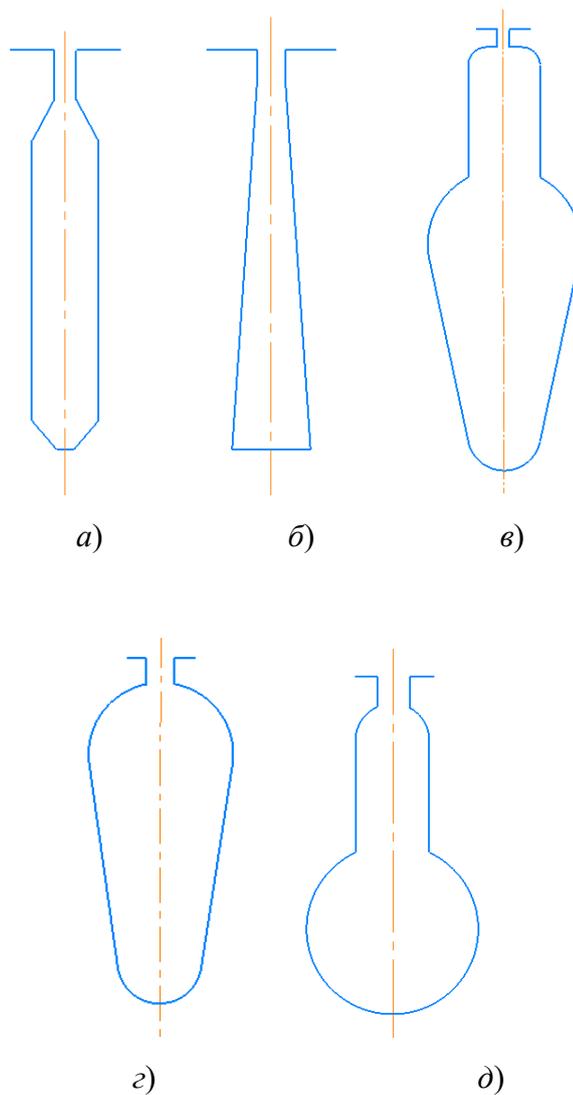
В грузовых локомотивах асинхронный тяговый привод работает при тяжелых режимах и небольшой интенсивности охлаждения, что способствует перегреву обмоток и тепловому пробое изоляции. В связи с чем необходимо более детальное изучение теплового состояния тягового асинхронного двигателя (ТАД), а также способов снижения быстрого изнашивания изоляции и обмоток.

Асинхронный тяговый двигатель в процессе эксплуатации имеет неустановившиеся тепловые режимы. Их инерция в большей степени превышает инерцию электромеханического состояния двигателя. Таким образом при определении изменения температур в обмотках ТАД учет тепловой энергии является условием, при котором будут получены наиболее достоверные результаты.

Короткозамкнутая обмотка ротора асинхронного тягового двигателя за счет вытеснения тока создает момент на валу, увеличение которого возможно за счет изменения сечения стержней, используемых в конструкции обмотки, которые определяются формой пазов ротора. Правильно подобранная форма стержня способствует более точному распределению тока по сечению проводника, что улучшает электромеханические свойства двигателя. Однако следует отметить, что различные формы сечений стержней обмотки оказывают влияние также на теплотехнические свойства двигателя [1, 2]. В связи с чем актуальной является задача в определении влияния формы сечения стержней обмотки на тепловое состояние статора и ротора тягового асинхронного двигателя.

В качестве объекта исследования был принят тяговый асинхронный электродвигатель ДТА-350Т. Данный ТАД применяется на тепловозах ТЭМ21 и 2ТЭ25А. Он предназначен для использования на колёсных парах локомотива, обладает мощностью на валу 350 кВт, работает при максимальном линейном напряжении 1410 В и обеспечивает частоту тока статора до 125 Гц. Двигатель имеет шесть полюсов и в краткосрочном режиме (при трогании) может выдавать фазный ток до 470 А и вращающий момент не менее 10500 Н·м.

Для установления эффективной формы сечения стержней обмотки ротора ТАД, которые будут иметь наименьшее нагрев в процессе эксплуатации, на основе проведенного анализа отечественных и зарубежных исследований, было рассмотрено несколько вариантов сечений: прямоугольные, трапециевидные, лопаточные, грушевидные и колбообразные (рис. 1) [3, 4].



**Рис. 1. Формы стержней обмотки ротора:**  
*a* – прямоугольная; *б* – трапецевидная; *в* – лопаточные; *г* – грушевидные; *д* – колбообразные  
**Fig. 1. Shapes of rotor winding rods:**  
*a* – rectangular; *b* – trapezoidal; *c* – blade-shaped; *d* – pear-shaped; *d* – flask-shaped

Для увеличения пусковых моментов двигателей прямоугольные пазы делают узкими и глубокими, т.к. эффект вытеснения тока в них возрастает с увеличением высоты стержня. Роторы с такими пазами называют глубокопазными.

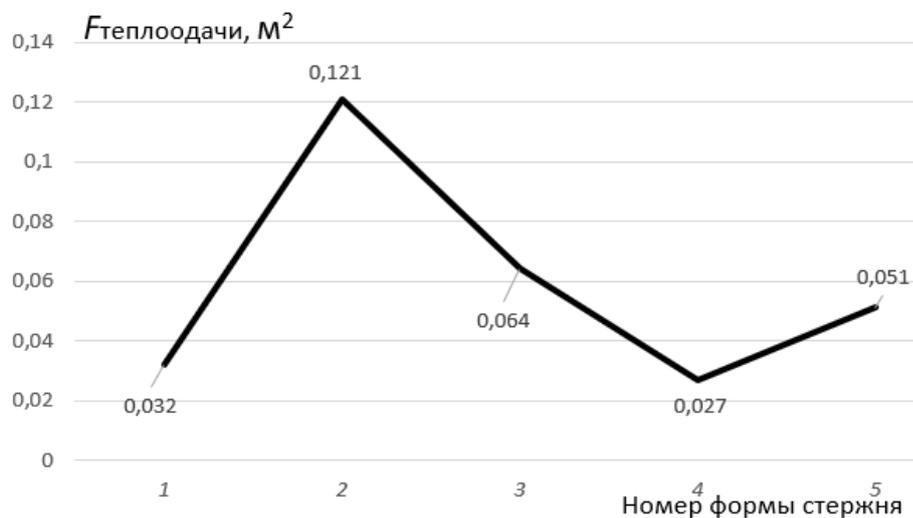
Чтобы определить в какой степени форма стержня ротора влияет на температуру обмоток было проведено исследование температурных режимов работы тягового асинхронного двигателя с помощью моделирования протекания тепловых процессов в элементах машин в промышленном программном комплексе.

При моделировании учитывалось, что поперечные сечения стержней обмотки ротора эквивалентны по значениям номинальных тяговых моментов и сопротивлений с реальными значениями сечений стержней принятого двигателя ДТА-350Т. В качестве материала стержней задавалась медь, а площади поперечных сечений каждой формы стержней ротора были идентичны между собой.

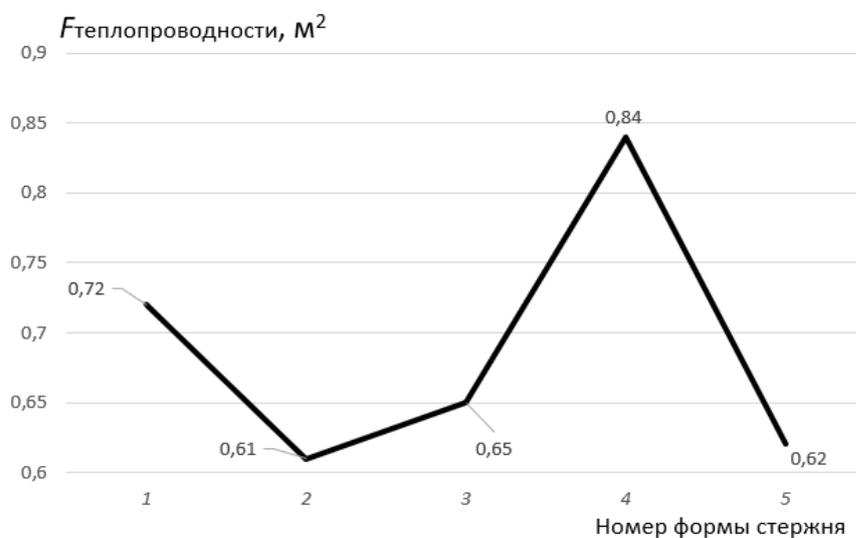
При моделировании были получены параметры теплового состояния обмоток, такие как площади  $F$  теплоотдачи и теплопроводности, а также значение теплопередачи от стержней ротора в атмосферу [5 – 7].

В ходе анализа полученных расчетных данных при моделировании установлено, что наибольшую поверхность теплоотдачи имеет стержень трапецевидной формы, которая

составляет  $0,121 \text{ м}^2$ , наименьшее значение этого параметра у сечения стержней обмотки грушевидной формы, которое составляет  $0,026 \text{ м}^2$  (рис. 2, а). Также установлено, что наибольшую площадь теплопроводности к ротору имеет сечение стержня грушевидной формы, которая составляет  $0,84 \text{ м}^2$  (рис. 2, б), трапецевидные, лопаточные и колбообразные сечения получили приблизительно одинаковые значения, которые составляют около  $0,06 \text{ м}^2$ .



а)



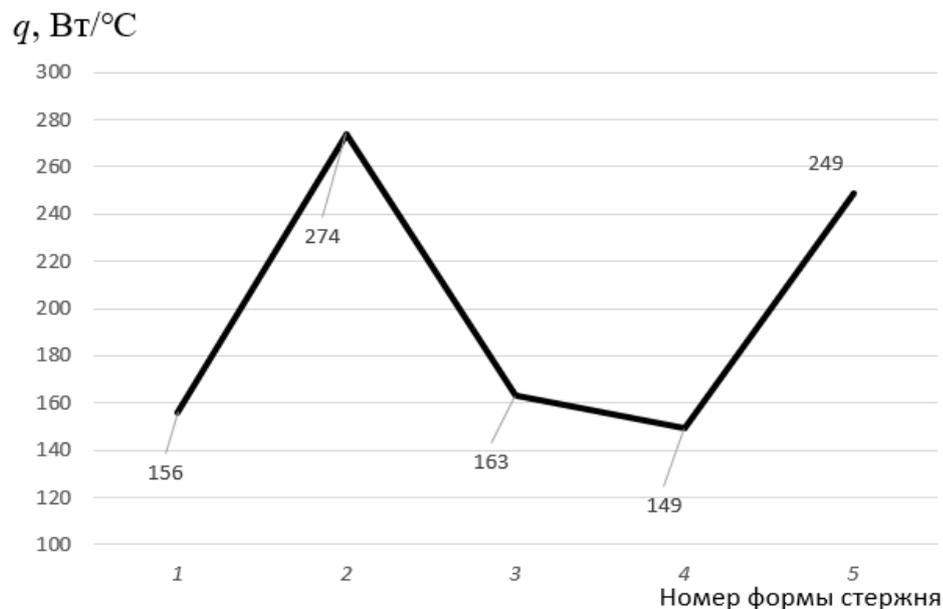
б)

**Рис. 2. График значений площадей поверхности теплоотдачи (а) и теплопроводности к ротору (б) для разных форм сечений обмотки ротора:**

1 – прямоугольные; 2 – трапецевидные; 3 – лопаточные; 4 – грушевидные; 5 – колбообразные  
**Fig. 2. Graph of heat transfer surface area values (a) and thermal conductivity to the rotor (b) for different rotor winding cross-section shapes:**

1 – rectangular; 2 – trapezoidal; 3 – blade-shaped; 4 – pear-shaped; 5 – flask-shaped

В результате расчета также было получено значение теплоотдачи стержней в атмосферу  $q$  с разными сечениями (рис. 3). Установлено, что наибольшее значение этого показателя зафиксировано для трапецевидного сечения и составило около  $274 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$ , а наименьшее для грушевидного –  $148,6 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$ .



**Рис. 3. График значений теплоотдачи стержней ротора в атмосфере:**  
 1 – прямоугольные; 2 – трапециевидные; 3 – лопаточные; 4 – грушевидные; 5 – колбообразные  
**Fig. 3. Graph of heat transfer values of rotor rods into the atmosphere:**  
 1 – rectangular; 2 – trapezoidal; 3 – blade-shaped; 4 – pear-shaped; 5 – flask-shaped

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод что наибольшей теплоотдачей обладает трапециевидная форма сечения обмотки статора ТАД, наименьшей – грушевидная. В связи с этим рекомендуется использование трапециевидной формы для избегания перегрева обмотки и теплового пробития изоляции ТАД на локомотиве.

#### Список источников:

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2025. – 828 с.
2. Проектирование электрических машин. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1970. – 632 с.
3. Разработка методов выбора параметров асинхронного тягового двигателя с учетом теплового состояния обмоток: дис. кан. техн. наук: 05.14.01/ Тихонов Филип Владимирович. – М., 2008. – 136 с.
4. Электрические машины. Асинхронные машины: учебное пособие для вузов / Е.И. Забудский. – М.: ООО «Мегаполис», 2017. – Ч. 2. – 304 с.
5. Зюзев А.М., Метельков В.П. Оценка нагрева обмотки статора асинхронного двигателя в электроприводе с периодическим характером нагружения // Электротехнические системы и комплексы. – 2010. – №1. – 7 с.
6. Федорова К.Г. Обзор существующих тепловых моделей для частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя // Главный энергетик. – 2018. – №7.
7. Расчет асинхронных двигателей: Пособие для выполнения курсовой работы / В.Н. Галушко, И.С. Евдасев и др. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 158 с.
8. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.

#### References:

1. Kopylov I.P. Design of Electrical Machines. 4th ed. Moscow: Yurait [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 14]. Available from: <https://urait.ru/bcode/566208>
2. Design of Electrical Machines. 3rd ed. Moscow: Energia; 1970.
3. Tikhonov F.V. Developing Methods for Selecting the Parameters of an Asynchronous Traction Motor Taking Into Account the Thermal State of the Winding. Candidate of Technical Sciences Thesis. Moscow; 2008.
4. Zabudsky E.I. Electrical Machines. Asynchronous Machines. Part 2. Moscow: Megapolis; 2017.
5. Zyuzev A.M., Metelkov V.P. Evaluation of Heating of the Stator Winding of an Asynchronous Motor in an Electric Drive With a Periodic Loading Pattern. Electrotechnical Systems and Complexes.
6. Fedorova K.G. Review of Existing Thermal Models for Frequency-Regulated Asynchronous Electric Motor. Chief Power Engineer. 2018;7.
7. Galushko V.N., Evdasev I.S., Patskevich V.A., Drobov A.V. Calculation of Asynchronous Motors. Part 2. Gomel: Belarusian State University of Transport; 2016.
8. Kopylov I.P. Design of Electrical Machines. Moscow: Energy; 1980.

## Информация об авторах:

**Лукашов Николай Александрович**  
аспирант кафедры «Подвижной состав железных дорог»

**Суслов Виталий Сергеевич**  
Инженер-конструктор ООО «АИР»

**Масонов Артём Михайлович**  
Специалист Эксплуатационного вагонного депо Бирюлёво-структурное подразделение Московской дирекции инфраструктуры структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры-филиала ОАО «РЖД» г. Москва

**Маганков Олег Сергеевич**  
инженер-конструктор 1 категории, ОП ООО «ТМХ Инжиниринг» в г. Брянск, КБ «Локомотивы», бюро кузовов и кабин

## Information about the authors:

**Lukashov Nikolay Aleksandrovich**  
Postgraduate student at the Department of Rolling Stock of Railways

**Suslov Vitaly Sergeevich**  
Design Engineer of AIR LLC

**Masonov Artem Mikhailovich**  
Railcar Inspector and Repairman of JSC Russian Railways, Moscow

**Magankov Oleg Sergeevich**  
Design Engineer of the 1st category of Separate Subdivision of Transmashholding Engineering LLC in Bryansk, Locomotives Design Bureau, Car Body and Cab Department

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 03.03.2025; одобрена после рецензирования 07.03.2025; принята к публикации 12.03.2025.**

**The article was submitted 03.03.2025; approved after reviewing 07.03.2025; accepted for publication 12.03.2025.**

**Рецензент** – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

---

---

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: aim-ru@mail.ru

*Вёрстка А.Г. Малаханова. Редактор Д.А. Петраченко.*

Сдано в набор 14.03.2025. Выход в свет 28.03.2025.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 7,44.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»  
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

---

---

